UCC UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA JESUITAS | Sistema de Bibliotecas

PRODUCCIÓN ACADÉMICA

Audizio, Luciana María

Schnorr, Sofía Belén

Diseño y cálculo estructural de vivienda modular para optimización de procesos constructivos y disminución de la contaminación en la construcción

Tesis para la obtención del título de grado de Ingeniería Civil

Director: Fontana, José Marcos

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA
Universidad Jesuita

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DOCUMENTO DE TRABAJO FINAL

"Diseño y cálculo estructural de vivienda modular para optimización de procesos constructivos y disminución de la contaminación en la construcción."

Autores:

AUDIZIO, Luciana María
SCHNORR, Sofía Belén

Año 2026

RESUMEN

El presente trabajo final tiene como objetivo proponer una alternativa constructiva, que permita disminuir la contaminación generada en las construcciones tradicionales. Se entiende por construcción tradicional el sistema constructivo ejecutado mayoritariamente in situ, con utilización de mampostería, hormigón armado y revoques aplicados directamente en el sitio, caracterizado por una alta generación de residuos, tiempos de ejecución prolongados y mayor dependencia de mano de obra intensiva.

La propuesta para mitigar esta problemática es la construcción modular, mediante módulos metálicos prefabricados, que ya cuentan con sus correspondientes cerramientos, instalaciones, revoques, pinturas y terminaciones, y se encuentran listos para ser colocados en obra.

El sistema contempla el diseño de módulos habitacionales MH prefabricados en taller. Asimismo, se plantea un sistema de transporte coherente con la legislación actual pertinente, garantizando una correcta logística y evitando conflictos normativos durante su traslado.

De este modo, no sólo se logra disminuir la contaminación asociada a la construcción tradicional, sino que también se reducen los plazos de ejecución, se minimizan desperdicios derivados de ineficiencias constructivas y se optimizan los costos del proceso.

PALABRAS CLAVE

- Construcción modular.
- Contaminación.
- Módulos metálicos.
- Steel Framing.

ABSTRACT

This final project aims to propose a construction alternative that reduces pollution generated by traditional construction methods. Traditional construction is defined as a building system primarily executed on-site, using masonry, reinforced concrete, and plaster applied directly in place. It is characterized by high waste generation, prolonged construction times, and a greater reliance on intensive labor.

The proposed solution to mitigate this problem is modular construction using prefabricated metal modules. These modules already include their corresponding enclosures, installations, plaster, paint, and finishes, and are ready for on-site assembly.

The system includes the design of prefabricated MH housing modules in a workshop. Furthermore, a transportation system is proposed that complies with current legislation, ensuring proper logistics and avoiding regulatory conflicts during transport.

In this way, not only is pollution associated with traditional construction reduced, but construction times are also shortened, waste resulting from construction inefficiencies is minimized, and process costs are optimized.

KEY WORDS

- Modular construction.
- Pollution.
- Steel modules.
- Steel Framing.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 2
2.1. OBJETIVOS GENERALES 2
2.2. OBJETIVOS PARTICULARES 2
3. ALCANCE Y METAS 3
4. CONTAMINACIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN 4
4.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL 4
4.2. CONTAMINACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL 4
4.3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR LA CONSTRUCCIÓN EN CÓRDOBA 6
5. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL 7
5.1. CONSTITUCIÓN NACIONAL 7
5.1.1. ARTÍCULO 41o 7
5.1.2. ARTÍCULO 43o 7
5.1.3. ARTÍCULO 124o 8
5.2. LEY N.º 25.675 GENERAL DE AMBIENTE 8
5.3. LEY N.º 25.916 DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS 8
5.4. LEY N.º 24.051 DE RESIDUOS PELIGROSOS 8
5.5. ORDENANZA 12.648 DE CÓRDOBA 8
5.6. ISO 14.001 9
5.7. ISO 9.001 9
6. SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN 11
6.1. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES 11
6.1.1. TRABAJO FINAL: AUDIZIO NICOLÁS, PRIETO MARTINA Y SÁNCHEZ PILAR 12

6.1.2. MÓDULOS HÜGA 13
6.1.3. MÓDULOS ECOSAN S.A. 16
6.2. SISTEMA MODULAR PROPUESTO 18
7. DISEÑO DE LOS MÓDULOS 19
7.1. MÓDULO HABITACIONAL 19
7.1.1. NORMATIVA DE TRANSPORTE 19
7.1.2. DIMENSIONES ADOPTADAS 20
7.1.3. MATERIALES DE LOS MÓDULOS HABITACIONALES 21
7.2. NÚCLEO DE CIRCULACIÓN VERTICAL 28
7.2.1. DIMENSIONES DEL ASCENSOR 28
7.2.2. DIMENSIONES DE LA ESCALERA 29
7.2.3. DIMENSIONES EN PLANTA DEL NÚCLEO DE CIRCULACIÓN VERTICAL 30
7.2.4. CARGAS ACTUANTES EN EL NÚCLEO CV 31
7.2.5. SALA DE MÁQUINAS 31
8. DISEÑO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE UNA PLANTA 33
8.1. PLANTA DE ARQUITECTURA 33
8.1.1. CÓDIGO DE EDIFICACIÓN - ORDENANZA 9.387/95 33
8.1.2. DETALLE DE PLANTA 34
8.2. PLANTA DE TECHOS 34
8.2.1. TANQUE DE RESERVA 35
8.2.2. DETALLE DE PLANTA 35
8.3. PLANTA DE ESTRUCTURA 36
8.4. FACHADA 36
9. DISEÑO DE EDIFICIO DE VIVIENDAS 38
9.1. PLANTA DE ARQUITECTURA 38
9.1.1. CÓDIGO DE EDIFICACIÓN - ORDENANZA 9387/95 38

9.1.2. DETALLE DE PLANTA 39
9.2. PLANTA DE TECHOS 41
9.2.1. TANQUE DE RESERVA 41
9.2.2. DETALLE DE LA PLANTA 41
9.3. PLANTA DE ESTRUCTURA 42
9.4. FACHADA 43
10. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS HABITACIONALES 45
10.1. ACCIONES Y COMBINACIONES DE ACCIONES 45
10.1.1. ACCIONES 45
10.1.2. COMBINACIONES DE ACCIONES PARA LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS 46
10.1.3. COMBINACIONES DE ACCIONES PARA LOS ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO 47
10.2. BASES DE PROYECTO 47
10.2.1. ESTADOS LÍMITES 47
10.3. MODELADO ESTRUCTURAL EN RAM ELEMENTS 48
10.3.1. GENERACIÓN DEL MODELO 50
10.3.2. SOLICITACIONES 53
10.4. VERIFICACIÓN DEL PREDIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA PORTANTE 76
10.4.1. VIGAS 79
10.4.2. COLUMNAS 80
10.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL 81
10.6. VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITE EN VIGAS Y COLUMNAS 82
10.6.1. VIGAS 82
10.6.2. COLUMNAS – CONDICIÓN CRÍTICA CORTE Y FLEXIÓN (X y Z) 87
10.6.3. COLUMNAS – CONDICIÓN CRÍTICA COMPRESIÓN 100

10.7. MEDIOS DE UNIÓN 108
10.7.1. UNIONES ENTRE MÓDULOS 108
10.7.2. UNIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN MISMO MÓDULO 126
10.7.3. PLACA BASE DE COLUMNAS 130
10.8. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES EN SERVICIO 170
10.9. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES EN TRANSPORTE Y MONTAJE 172
10.9.1. DEFORMACIONES EN MONTAJE 172
10.9.2. DEFORMACIONES EN TRANSPORTE 174
10.10. SEPARACIÓN DE LAS TORRES 175
11. ANÁLISIS DE COSTOS 177
11.1. MÓDULO EN CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL 177
11.2. MÓDULO EN SISTEMA PROPUESTO 179
11.3. COMPARACIÓN ENTRE AMBOS SISTEMAS 180
12. ANÁLISIS AMBIENTAL 182
12.1. MATRIZ DE LEOPOLD – CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL 184
12.2. MATRIZ DE LEOPOLD – SISTEMA PROPUESTO 184
12.3. COMPARACIÓN DE SISTEMAS 185
13. CONCLUSIÓN 187
14. BIBLIOGRAFÍA 189
15. ANEXOS 192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición de los módulos en el camión de traslado. 20
Figura 2. Dimensiones adoptadas para el módulo habitacional. 21
Figura 3. Estructura de muro de Steel Framing. 25
Figura 4. Composición del entrepiso de Steel Framing. 26
Figura 5. Composición de la cubierta de Steel Framing. 27
Figura 6. Dimensiones finales para el núcleo de circulación vertical. 31
Figura 7. Planta arquitectónica de la vivienda proyectada. 34
Figura 8. Planta de techos de la vivienda proyectada. 35
Figura 9. Planta estructural de la vivienda proyectada. 36
Figura 10. Fachada frontal de la vivienda proyectada. 37
Figura 11. Planta de arquitectura de la planta baja del edificio de viviendas proyectado. 39
Figura 12. Planta de arquitectura de la planta tipo del edificio proyectado. 40
Figura 13. Planta de techos del edificio proyectado. 42
Figura 14. Planta de estructura del edificio proyectado. 43
Figura 15. Fachada frontal del edificio proyectado. 44
Figura 16. Sección transversal de las vigas del cordón superior, W8×24. 49
Figura 17. Sección transversal de las columnas, 2UPN180. 49
Figura 18. Sección transversal de las vigas del cordón inferior, W4×13. 50
Figura 19. Disposición de las torres en la planta de estructura del edificio. 51
Figura 20. Modelo de la torre de departamentos de dos dormitorios, desarrollado en el software RAM Elements. 52
Figura 21. Modelo de la torre de departamentos de un dormitorio, desarrollado en el software RAM Elements. 52
Figura 22. Modelo de la vivienda proyectada, desarrollada en el software RAM Elements. 53
Figura 23. Zonificación sísmica según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018). 55
Figura 24. Velocidad básica del viento según la zona de emplazamiento, Reglamento CIRSOC 102 - 2005. 71
Figura 25. Coeficiente de presión externa GCp para edificios con h < 20 m. 74
Figura 26. Miembros más solicitados del modelo de la torre 1. 77
Figura 27. Miembros más solicitados del modelo de la torre 2. 78
Figura 28. Secciones de los elementos estructurales del módulo habitacional M-H. 81

Figura 29. Envolvente del momento flector y corte, respectivamente, de las vigas 87 y 91 de la torre 1. 81
Figura 30. Envolvente del momento flector alrededor de X y Z, corte y axil, respectivamente, de las columnas 51 y 55 de la torre 1. 82
Figura 31. Envolvente del momento flector alrededor de X y Z, corte y axil, respectivamente, de la columna 67 de la torre 1..... 82
Figura 32. Nomogramas para la determinación del factor de longitud efectiva k. 88
Figura 33. Pórtico de la columna. Deformada para ELU = 1,2D + 1,6 L en dirección X y Z respectivamente. 89
Figura 34. Pórticos indesplazables y desplazables, según (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición)..... 89
Figura 35. Nudo inferior al que concurren la columna y la viga, en dirección X. 90
Figura 36. Nudo superior al que concurren la columna y la viga, en dirección X. 91
Figura 37. Factor de longitud efectiva en la dirección X. 91
Figura 38. Nudo inferior al que concurren la columna y la viga, en dirección Z. 92
Figura 39. Nudo superior al que concurren la columna y la viga, en dirección Z. 93
Figura 40. Factor de longitud efectiva en la dirección Z..... 93
Figura 41. Geometría final de la unión entre módulos de pisos intermedios. 114
Figura 42. Esfuerzo de compresión máximo en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 117
Figura 43. Flexión alrededor del eje fuerte (x) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 117
Figura 44. Flexión alrededor del eje débil (z) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 117
Figura 45. Esfuerzo de corte en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 117
Figura 46. Geometría final de la unión entre módulos del piso final y la vivienda. 120
Figura 47. Esfuerzo de compresión máximo en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 122
Figura 48. Flexión alrededor del eje fuerte (x) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 123
Figura 49. Flexión alrededor del eje débil (z) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 123

Figura 50. Esfuerzo de corte en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico. 123
Figura 51. Geometría final de la unión entre columnas de esquina de módulos de distinto nivel. 126
Figura 52. Esquema de la unión soldada propuesta entre vigas y columnas. 127
Figura 53. Geometría final adoptada para la unión soldada entre vigas y columnas. 130
Figura 54. Esquema de placa base para una columna. 131
Figura 55. Excentricidad de la carga axil aplicada, caso 2. 132
Figura 56. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base. 134
Figura 57. Diagrama de momentos flectores en la placa base. 135
Figura 58. Esquema de cargas en la placa base para analizar la cartela. 136
Figura 59. Momento nominal en la placa base para analizar la cartela. 136
Figura 60. Esfuerzo de corte actuante en la cartela. 140
Figura 61. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base. 147
Figura 62. Diagrama de momentos flectores en la placa base. 147
Figura 63. Dimensiones finales adoptadas para la placa base de las columnas. 150
Figura 64. Esquema de placa base para dos columnas de módulos contiguos. 150
Figura 65. Excentricidad de la carga axil aplicada, caso 1. 152
Figura 66. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base para dos columnas. 154
Figura 67. Diagrama de momentos flectores en la placa base para dos columnas. 155
Figura 68. Esquema de cargas en la placa base para analizar la cartela. 156
Figura 69. Momento nominal en la placa base para analizar la cartela. 156
Figura 70. Esfuerzo de corte actuante en la cartela. 160
Figura 71. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base. 167
Figura 72. Diagrama de momentos flectores en la placa base. 167
Figura 73.Geometría final de la placa base para dos columnas de módulos contiguos. 170
Figura 74. Modelo de los módulos habitacionales en situación de montaje, desarrollado mediante el software RAM Elements. 173
Figura 75. Esquema del sistema de montaje de los módulos. 174
Figura 76.Modelo de los módulos habitacionales en situación de transporte, desarrollado mediante el software RAM Elements. 175
Figura 77. Disposición de juntas en el edificio. 176
Figura 78. Nomenclatura de las Matrices de Leopold. 183

Figura 79. Matriz de Leopold del sistema de construcción tradicional. 184
Figura 80. Matriz de Leopold del sistema de construcción modular..... 185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones ideales para escaleras de edificios residenciales. 29
Tabla 2. Valores finales del dimensionado de la escalera. 30
Tabla 3. Dimensiones de los ambientes de la vivienda proyectada. 33
Tabla 4. Planilla de aberturas de la vivienda proyectada. 34
Tabla 5. Dimensiones de los ambientes del edificio proyectado. 39
Tabla 6. Planilla de aberturas del edificio proyectado. 40
Tabla 7. Cargas permanentes, módulos de cubierta. 53
Tabla 8. Cargas permanentes para módulos de entrepiso. 54
Tabla 9. Clasificación del sitio - influencia del suelo, según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018). 56
Tabla 10. Valores de as, Ca y Cv para las distintas zonas sísmicas y tipos espectrales, según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I - 2018. 57
Tabla 11. Valor del período $T3$, según Reglamento CIRSOC 103 - Parte I - 2018. 58
Tabla 12. Factores de comportamiento, CIRSOC 103 (2018). 59
Tabla 13. Espectro de diseño. 60
Tabla 14. Condiciones de regularidad en planta. CIRSOC 103 - Parte I (2018). 62
Tabla 15. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 1 en la dirección X. 63
Tabla 16. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 1 en la dirección Z. 63
Tabla 17. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 2 en la dirección X. 63
Tabla 18. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 2 en la dirección Z. 63
Tabla 19. Excentricidad accidental. CIRSOC 103 – Parte I (2018). 64
Tabla 20. Análisis de distorsión angular en la torre 1, en la dirección X. 65
Tabla 21. Análisis de la distorsión angular en la torre 1, en la dirección Z. 65
Tabla 22. Análisis de la distorsión angular en la torre 2, en la dirección X. 65
Tabla 23. Análisis de la distorsión angular en la torre 2, en la dirección Z. 65
Tabla 24. Coeficiente sísmico normalizado. 66
Tabla 25. Verificaciones de corte basal en la torre 1. 66
Tabla 26. Verificaciones de corte basa en la torre 2. 67

Tabla 27. Dimensiones geométricas consideradas para cada modelo. Viento en dirección ± X, paralelo a la cumbrera. 68
Tabla 28. Dimensiones geométricas consideradas para cada modelo. Viento en dirección ± Z, perpendicular a la cumbrera. 68
Tabla 29. Coeficiente de exposición dinámica Kz, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005. 69
Tabla 30. Factor de direccionalidad Kd. 70
Tabla 31. Clasificación de edificios y otras estructuras para cargas de viento, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005. 72
Tabla 32. Factor de importancia según la categoría de la construcción, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005. 73
Tabla 33. Coeficientes de presión interna GCpi. 74
Tabla 34. Presión dinámica del viento en el edificio. 75
Tabla 35. Presión dinámica del viento en la vivienda. 75
Tabla 36. Presión dinámica del viento en el módulo. 75
Tabla 37. Solicitaciones de los elementos estructurales más críticos. 78
Tabla 38. Solicitaciones de los elementos estructurales críticos de los modelos de la vivienda, el módulo en transporte y el módulo en montaje. 79
Tabla 39. Máximas deformaciones admitidas, según CIRSOC 301 (2018). 171
Tabla 40. Deformaciones en servicio de la Torre 1 172
Tabla 41. Deformaciones de los módulos en montaje. 173
Tabla 42. Deformaciones de los módulos en transporte. 175
Tabla 43. Cómputo métrico y presupuesto para un módulo habitacional MH construido mediante sistema tradicional. 178
Tabla 44. Cómputo métrico y presupuesto para un módulo habitacional MH construido mediante el sistema propuesto. 180
Tabla 45. Escala de valoración de impactos 183

1. INTRODUCCIÓN

La problemática abordada en este trabajo final se centra en el estudio de la contaminación generada por las obras de construcción. Estas comprenden el conjunto de actividades necesarias para la materialización de un edificio o vivienda, abarcando tanto la ejecución de la estructura resistente como las etapas posteriores de terminaciones e incorporación de instalaciones.

Las obras de construcción representan una de las fases más intensivas en consumo de recursos y en generación de impactos ambientales, debido al uso significativo de materiales como el acero y el hormigón, cuyos procesos de producción y aplicación generan residuos de difícil gestión. A ello se suman otras formas de contaminación inherentes al proceso constructivo: ruidos producidos por maquinaria y herramientas, vibraciones, emisiones de polvo y material particulado, además de un elevado consumo energético y la emisión indirecta de gases de efecto invernadero.

En este contexto, el objetivo principal del presente trabajo es analizar la contaminación asociada a las obras de construcción, para posteriormente proponer una alternativa constructiva que contribuya a reducir dichos impactos, promoviendo de esta manera una construcción más sustentable, eficiente y socialmente responsable.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GENERALES

1. Elaborar el diseño y cálculo estructural de un edificio de viviendas de 5 pisos y una vivienda unifamiliar, con un sistema de construcción modular para reducir la contaminación y plazos de ejecución de la obra.
2. Poner en ejercicio los conocimientos adquiridos durante el cursado de diversas materias de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Católica de Córdoba.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Realizar de manera integral, el anteproyecto de una obra de ingeniería.
2. Implementar los conceptos adquiridos en las asignaturas de:
    - Análisis Estructural III, para el análisis de cargas sísmicas y de viento en las estructuras, así como también el análisis de las demás solicitaciones actuantes y su modelado en el software RAM Elements.
    - Cálculo Estructural III, para el cálculo de la estructura portante metálica de las obras de ingeniería.
    - Gestión Ambiental, para el análisis de la contaminación generada con el método de construcción tradicional, y la comparación con el método constructivo propuesto.
    - Instalaciones en Edificios, para el correcto dimensionamiento del tanque de reserva y la capacidad de los ascensores.
3. En base al Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios CIRSOC 301 - 2018, dimensionar la estructura portante de las obras civiles.
4. Completar los requisitos necesarios para finalizar con la carrera de Ingeniería Civil.

3. ALCANCE Y METAS

El presente Trabajo Final tiene como alcance el desarrollo de la memoria de cálculo estructural para un edificio de viviendas de planta baja y cuatro niveles, así como para una vivienda unifamiliar, empleando un sistema constructivo basado en módulos prefabricados. Asimismo, se busca que la solución propuesta minimice el impacto ambiental asociado al proceso constructivo, promoviendo prácticas más sostenibles en comparación con los métodos tradicionales.

La finalidad del proyecto consiste en dimensionar un módulo estructural tipo que pueda ser replicado para conformar las distintas configuraciones habitacionales previstas. De esta manera, se pretende desarrollar un sistema de construcción modular que permita reducir los tiempos de ejecución, optimizar los procesos constructivos y disminuir la generación de residuos y otros impactos ambientales derivados de la construcción convencional.

4. CONTAMINACIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

4.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación ambiental puede definirse como la alteración desfavorable de las condiciones naturales del medio, producto de la incorporación de sustancias, energía o agentes de diversa índole que superan la capacidad de asimilación del entorno. Esta alteración genera efectos negativos sobre los ecosistemas, los recursos naturales y la salud humana.

Desde una perspectiva técnica, los agentes contaminantes pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. Los primeros incluyen factores como el ruido, la radiación o las vibraciones; los segundos, sustancias como gases, metales pesados o compuestos orgánicos; y los terceros, organismos o microorganismos capaces de afectar la salud o el equilibrio natural.

En el ámbito urbano y productivo, la construcción ocupa un lugar destacado como fuente de contaminación. Esta actividad, al implicar el uso intensivo de maquinaria, materiales y procesos de transformación del espacio, genera emisiones atmosféricas, residuos sólidos, vertidos líquidos y niveles de ruido significativos. Si bien estos efectos suelen ser temporales y localizados en el área de la obra, la magnitud de la actividad constructiva en las ciudades convierte a la contaminación derivada de este sector en un aspecto de creciente relevancia para la gestión ambiental.

4.2. CONTAMINACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

En el marco de una obra en construcción que emplea un sistema tradicional, se identifican diversos agentes contaminantes que afectan al aire, agua, suelo y entorno social inmediato. La naturaleza de estos agentes depende de las etapas constructivas, materiales utilizados, tipo de maquinaria y procesos implementados.

En primer lugar, los agentes contaminantes atmosféricos constituyen uno de los impactos más notorios. La remoción y movimiento de suelos, la demolición de estructuras previas, el acopio y transporte de materiales, así como las tareas de corte y mezclado, generan emisiones de polvo y material particulado. Estas partículas afectan la calidad del aire local, disminuyen la visibilidad y pueden ocasionar problemas respiratorios en la población cercana. A ello se suman los gases de combustión provenientes de la maquinaria pesada y los vehículos de transporte, que liberan dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO),

óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO_2). Asimismo, el uso de productos químicos como pinturas, solventes, adhesivos o impermeabilizantes libera compuestos orgánicos volátiles (COV), que generan olores molestos y contribuyen a la contaminación fotoquímica urbana.

La contaminación hídrica está asociada al arrastre de sólidos y sustancias químicas por las aguas de escorrentía o de limpieza. El lavado de equipos y herramientas de mezclado de hormigón libera aguas cargadas con sedimentos, restos de cemento y aditivos, los cuales incrementan la turbidez y alteran la composición química de los cursos receptores. Por otro lado, la operación de maquinaria pesada implica el riesgo de derrames de aceites, combustibles y lubricantes, los cuales pueden infiltrarse en el suelo y alcanzar aguas subterráneas o superficiales. Este tipo de contaminación es especialmente crítica en zonas urbanas donde la red pluvial descarga directamente en arroyos o lagunas sin tratamiento previo.

En cuanto a la contaminación del suelo, esta se produce fundamentalmente por la acumulación de escombros, restos de hormigón, ladrillos, yeso, metales, plásticos, madera y otros residuos sólidos inertes. Aunque en principio no son peligrosos, su disposición inadecuada degrada la calidad del suelo y del paisaje. Más graves aún son los residuos catalogados como peligrosos, tales como envases contaminados con pinturas, solventes o impermeabilizantes, restos de productos químicos de curado y selladores. A ello se añaden los derrames de combustibles, aceites o líquidos hidráulicos de la maquinaria, que generan focos de contaminación persistente y de difícil remediación.

Otro aspecto relevante es la contaminación acústica y vibratoria, típica de las obras de construcción tradicional. La operación de equipos como martillos neumáticos, compactadoras, sierras, grúas y excavadoras produce niveles de ruido que exceden los valores recomendados para la salud. El ruido excesivo afecta la audición, el descanso y la calidad de vida de la población circundante, y en el ámbito laboral puede generar daños auditivos permanentes en los trabajadores si no se implementan medidas de protección adecuadas. Asimismo, las vibraciones generadas por máquinas de compactación pueden afectar estructuras cercanas, generando fisuras, asentamientos diferenciales o inestabilidad en edificaciones preexistentes.

Finalmente, es necesario considerar la generación de residuos sólidos urbanos y especiales. En toda obra se producen residuos asimilables a urbanos, tales como envases plásticos, cartones, restos de embalajes y residuos orgánicos de los obradores. Sin embargo, también se generan residuos especiales de carácter peligroso, como pilas, baterías, tubos

fluorescentes, aceites usados, filtros de combustible y restos de productos químicos. Su incorrecta gestión incrementa significativamente el riesgo ambiental y sanitario.

4.3. CONTAMINACIÓN GENERADA POR LA CONSTRUCCIÓN EN CÓRDOBA

Aplicando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, Molina (2022) estimó que, para el año 2017, la construcción generó aproximadamente 1,8 millones de toneladas de CO2 equivalente, mientras que la producción de materiales asociados al proceso constructivo aportó más de 80.000 toneladas adicionales. A esto, se le suma la fase operativa de los edificios, cuyo consumo energético y mantenimiento representó alrededor de 2,6 millones de toneladas de CO2 equivalente. Estos valores ponen de manifiesto que, si bien la operación de las edificaciones constituye el mayor componente del ciclo, el impacto directo de la etapa constructiva es de una magnitud considerable y debe ser abordado en políticas de mitigación.

Por otro lado, la generación de residuos de construcción y demolición constituye otro de los problemas ambientales más relevantes en Córdoba. Según el mismo estudio, la cantidad de estos residuos producidos oscila entre 200.000 y 400.000 toneladas anuales, y sólo el 3% de ellos es actualmente reciclado o reutilizado, lo que implica que el 97% termina en disposición final sin aprovechamiento. Además de representar una pérdida de recursos potencialmente recuperables, esto genera presiones adicionales en los suelos, la capacidad de los rellenos y el entorno urbano.

La baja tasa de recuperación de los residuos de construcción y demolición se explica tanto por la ausencia de infraestructura de reciclaje como por la falta de normativas estrictas en relación con la gestión diferenciada de estos residuos. En este sentido, la situación de Córdoba refleja una tendencia común de gran parte del país, donde la construcción es uno de los sectores con mayor generación de residuos sólidos, pero con niveles mínimos de valorización.

Estos datos evidencian que la construcción en Córdoba no solo aporta de manera significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que además presenta un gran desafío para la gestión de residuos. La combinación de ambas problemáticas convierte al sector en un área prioritaria de intervención para las políticas ambientales, con un amplio margen de mejora en términos de eficiencia energética, gestión sustentable de materiales y valorización de escombros y residuos de demolición.

5. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

5.1. CONSTITUCIÓN NACIONAL

En la reforma de la Constitución Nacional del año 1994, se incorporan artículos relacionados a la temática ambiental, estos son:

5.1.1. ARTÍCULO 41o

"Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras, y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquellas alteren las jurisdicciones locales. Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos."

5.1.2. ARTÍCULO 43o

"Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. En el caso, el juez podrá declarar la inconstitucionalidad de la norma en que se funde el acto u omisión lesiva. Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, a la competencia, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley, la que determinará los requisitos y formas de su organización. Toda persona podrá interponer esta acción para tomar conocimiento de los datos a ella referidos y de su finalidad, que consten en registros o bancos de datos públicos, o privados destinados a proveer informes, y en caso de falsedad o discriminación, para exigir la supresión, rectificación, confidencialidad o actualización de aquellos. No podrá afectarse el secreto de las fuentes de información periodística. Cuando el derecho lesionado, restringido, alterado o

amenazado fuera la libertad física, o, en caso de agravamiento ilegítimo en la forma o condiciones de detención, o en el de desaparición forzada de personas, la acción de hábeas corpus podrá ser interpuesta por el afectado o por cualquiera en su favor y el juez resolverá de inmediato, aun durante la vigencia del estado de sitio."

5.1.3. ARTÍCULO 124o

"Las provincias podrán crear regiones para el desarrollo económico y social y establecer órganos con facultades para el cumplimiento de sus fines y podrán también celebrar convenios internacionales en tanto no sean incompatibles con la política exterior de la Nación y no afecten las facultades delegadas al Gobierno federal o el crédito público de la Nación; con conocimiento del Congreso Nacional. La ciudad de Buenos Aires tendrá el régimen que se establezca a tal efecto. Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio."

5.2. LEY N.º 25.675 GENERAL DE AMBIENTE

Además, la Argentina cuenta con leyes nacionales que regulan diversos aspectos relacionados con el ambiente, como la Ley 25.675, que establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. La política ambiental argentina está sujeta al cumplimiento de los siguientes principios: de congruencia, de prevención, precautorio, de equidad intergeneracional, de progresividad, de responsabilidad, de subsidiariedad, de sustentabilidad, de solidaridad y de cooperación.

5.3. LEY N.º 25.916 DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

Esta ley es un marco general para la gestión de residuos y, aunque no es específica para los residuos de construcción y demolición (RCD), establece la necesidad de que las autoridades elaboren planes de gestión para diferentes tipos de residuos, incluyendo los de construcción y demolición.

5.4. LEY N.º 24.051 DE RESIDUOS PELIGROSOS

Establece un marco normativo para la gestión de los residuos peligrosos. Aunque los RCD no siempre son peligrosos, se aplican a aquellos casos que pudieran serlo, exigiendo un registro de operaciones permanente y control.

5.5. ORDENANZA 12.648 DE CÓRDOBA

Los residuos de la construcción y demolición en Argentina no están regulados por una ley nacional específica, pero sí existen normas provinciales y municipales que los contemplan. La Municipalidad de Córdoba, a través de su Ordenanza 12.648, establece la obligación para grandes generadores de contar con un servicio particular de recolección y la prohibición de depositar residuos en la vía pública.

5.6. ISO 14.001

Se considera fundamental que las empresas asuman un compromiso real con el cuidado del medio ambiente. En este sentido, la certificación de la norma ISO 14.001 constituye un paso clave, ya que garantiza la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) orientado a reducir los impactos ambientales de sus actividades, productos y servicios. Esta norma internacionalmente reconocida ofrece lineamientos para gestionar de manera más eficiente dichos aspectos, promoviendo la protección del medio ambiente, la prevención de la contaminación y la consideración de las necesidades socioeconómicas.

Adoptar la ISO 14.001 no solo demuestra un compromiso con el desarrollo sustentable, sino que también genera beneficios tangibles, tales como:

- Mejora de la imagen corporativa y de las relaciones con la comunidad, autoridades y clientes.
- Optimización en el uso de recursos (energía, agua y materias primas), junto con una gestión adecuada de los residuos, lo que contribuye al ahorro de costos y a una mayor competitividad.
- Reducción de riesgos financieros asociados a estrategias reactivas, multas o litigios por incumplimiento normativo.
- Cumplimiento de la legislación ambiental vigente.
- Mejora en la calidad del ambiente laboral, motivación del personal y alineación con los valores corporativos.
- Acceso a nuevas oportunidades de negocio en mercados que valoran prácticas productivas sostenibles.

5.7. ISO 9.001

De manera complementaria, resulta relevante considerar la implementación de la ISO 9.001, norma internacional de gestión de calidad aplicable a organizaciones de todos los tamaños y sectores. Esta establece requisitos para diseñar, implementar, mantener y mejorar de forma continua un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC). Su adopción proporciona múltiples ventajas, entre ellas:

- Mayor eficacia operativa a través de la estandarización y optimización de procesos.
- Aseguramiento de la calidad del producto y cumplimiento de los requisitos normativos.
- Incremento en la satisfacción y fidelización de los clientes.
- Fomento de la mejora continua y de la capacidad de adaptación al cambio.
- Identificación y mitigación de riesgos para lograr operaciones más estables.
- Mayor compromiso y motivación de los empleados gracias a roles y responsabilidades claras.

6. SISTEMA CONSTRUCTIVO MODULAR COMO ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN

La solución propuesta para mitigar la contaminación generada en la etapa de construcción es la implementación de un sistema constructivo modular.

En primer lugar, se estudian diversas alternativas existentes vinculadas a esta metodología. Posteriormente, se realiza un análisis comparativo de cada una de ellas, evaluando sus ventajas y desventajas en términos de dimensiones, materiales, transporte, y factibilidad constructiva, con el objetivo de adoptar la alternativa más adecuada.

6.1. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Los módulos prefabricados ofrecen una serie de ventajas significativas en comparación con los métodos tradicionales de construcción. En primer lugar, la velocidad es uno de los principales beneficios. Gracias a la prefabricación, los tiempos de construcción se reducen considerablemente en un 30% a 50% en comparación con los métodos de construcción convencionales. Este ahorro de tiempo se debe principalmente a la capacidad de fabricar los módulos en paralelo con las actividades de preparación del sitio, lo que acelera el proceso de construcción en general.

Además, se minimiza la generación de residuos y se aprovechan mejor los recursos. La precisión y calidad son características clave de los módulos prefabricados, ya que se fabrican en un entorno controlado, lo que evita las imperfecciones habituales en la construcción tradicional. Al no fabricarse mediante encofrados en obra, generan menos residuos que los proyectos tradicionales y su instalación no es tan ruidosa.

Otra ventaja importante de los módulos prefabricados es su versatilidad. Estos módulos pueden ser personalizados para adaptarse a cualquier necesidad. Eso significa que existe libertad para elegir la distribución, los acabados y los materiales que más se ajusten a las preferencias y requerimientos del comitente. Además, las unidades modulares se fabrican en un entorno controlado y luego se ensamblan en el sitio. Esto reduce el riesgo de retrasos relacionados con condiciones climáticas y factores imprevistos que son comunes en la construcción tradicional.

Otro aspecto a considerar es la durabilidad de los módulos prefabricados. Al ser construidos con materiales de alta calidad y bajo estrictas normas de fabricación, estos módulos suelen ser más resistentes y duraderos que las construcciones tradicionales.

6.1.1. TRABAJO FINAL: AUDIZIO NICOLÁS, PRIETO MARTINA Y SÁNCHEZ PILAR

En la búsqueda de alternativas orientadas a reducir el impacto ambiental generado por las obras de construcción, se toma como referencia el análisis de una tipología modular desarrollada en el marco de un trabajo final de grado, desarrollado por los arquitectos Audizio Nicolás, Prieto Martina y Sánchez Pilar, presentada en la Universidad Católica de Córdoba en el año 2017.

El módulo estudiado presenta una planta de 6,00 x 6,00 metros, conformada por cuatro tabiques estructurales: dos con sección transversal tipo C y dos con sección transversal rectangular, como se puede observar en la Imagen 1. Los tabiques tipo C poseen una longitud de 2,00 m, alas de 80 cm y un espesor constante de 15 cm en todos sus componentes. Los tabiques rectangulares, por su parte, presentan 2,00 m de longitud y un espesor de 15 cm. Ambos tipos de tabiques se encuentran vinculados mediante vigas de sección cuadrada de 15 x 15 cm, alcanzando el módulo una altura total de 2,80 m. Todos los elementos estructurales se ejecutan en hormigón armado H25.

No obstante, al analizar esta propuesta se observa que sus dimensiones superan las permitidas por la normativa de transporte nacional y provincial vigente. Debido a ello, se deberían solicitar permisos de circulación adicionales por tratarse de una carga indivisible. Esto no solo constituye una limitación significativa para su aplicación práctica por el incumplimiento de las medidas, sino que también representa un costo extra que debe tenerse en cuenta.

En relación con el impacto ambiental, se constata que el sistema aún requiere múltiples tareas de construcción en obra, tales como la ejecución de muros de mampostería, losas, fundaciones, colocación de aberturas, terminaciones e instalaciones. Estas actividades implican la generación de una cantidad considerable de residuos, ruidos, vibraciones y polvo, características propias de la construcción tradicional.

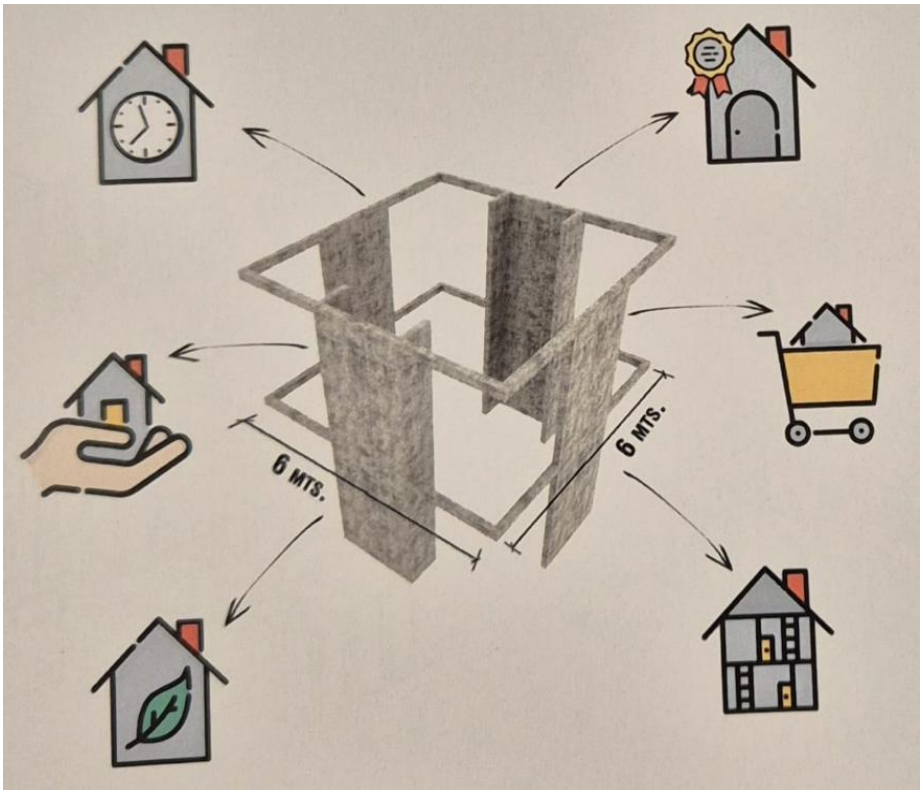


Imagen 1. Módulo propuesto por Audizio Nicolás, Prieto Martina y Sánchez Pilar en su Trabajo Final de Arquitectura.

6.1.2. MÓDULOS HÜGA

Con el objetivo de analizar los módulos constructivos propuestos por la empresa HÜGA, se llevó a cabo una visita a su planta de producción, donde se mantuvo una entrevista con el ingeniero Mario Martín Schmadeke.

Los módulos fabricados por la empresa se elaboran íntegramente en hormigón armado. La compañía ofrece tipologías prediseñadas, aunque también desarrolla modelos personalizados en función de las necesidades de cada cliente o proyecto específico. En la provincia de Córdoba, dichos módulos pueden disponerse de manera tal que conformen edificaciones de hasta tres niveles. La estabilidad estructural se garantiza mediante el diseño propio de cada unidad, sin requerir sistemas complejos de vinculación entre módulos, considerando que la región presenta una moderada exigencia en términos de acciones sísmicas.

El proceso de producción se inicia a partir de encofrados metálicos que permiten dar forma a las piezas que tienen un espesor de 15 cm. En dichos moldes se dispone la armadura correspondiente según las exigencias estructurales de cada diseño, utilizando como máximo barras de acero de 16 mm de diámetro. Además, se colocan también los elementos que generan los espacios destinados a aberturas, como puertas y ventanas.

El material utilizado es hormigón H30, con un agregado de granulometría fina que asegura un asentamiento de 17 cm, el necesario para adaptarse de manera uniforme al molde. Estos moldes se encuentran equipados con vibradores, cuatro en cada cara, cuya función es garantizar un correcto asentamiento del material, reduciendo al mínimo la posibilidad de fallas o vacíos. El curado se realiza mediante la aplicación de vapor en moldes cerrados, a partir de una caldera. Este procedimiento permite que el hormigón alcance en un solo día la resistencia adecuada, un proceso que en obra tradicional requiere aproximadamente catorce días.

La empresa dispone de un único molde para la producción de módulos, lo que posibilita la fabricación de una unidad por día. Para manipular los elementos constructivos, cuentan con un pórtico grúa, equipado con dos motores: uno destinado a levantar los módulos y otro orientado a tareas menores, como el vertido del hormigón. Asimismo, la planta incorpora maquinaria especializada para el corte y doblado de armaduras, lo que optimiza el uso del acero, reduce desperdicios y agiliza los tiempos de producción. En este sentido, los desperdicios de acero sobrante y de hormigón resultan mínimos, gracias al nivel de precisión y control alcanzado en el proceso. Este nivel de automatización también contribuye a mejorar la seguridad y las condiciones de trabajo de los operarios.

La organización de la planta incluye un sistema de control de stock desarrollado internamente, el cual permite llevar un seguimiento preciso de los materiales y anticipar las necesidades de producción.

En cuanto a las instalaciones complementarias, los módulos se entregan sin sistemas sanitarios, eléctricos o de gas incorporados. Dichas instalaciones se ejecutan en el emplazamiento final, junto con la fundación correspondiente y las terminaciones necesarias. Esta decisión responde a razones de eficiencia: si las instalaciones se realizaran en fábrica, implicaría la intervención simultánea de electricistas, plomeros, gasistas y otros operarios en un espacio reducido, lo que prolongaría la finalización de cada módulo más allá de un día de trabajo.

El equipo de producción está compuesto por seis operarios. La empresa no cuenta con un técnico de higiene y seguridad en planta de forma permanente; no obstante, los responsables internos asumen el control de dichas tareas y capacitan periódicamente a los trabajadores en la identificación de riesgos y en medidas preventivas.

En lo referente al transporte, se requiere un carretón especial y la tramitación de permisos ante las distintas jurisdicciones por las que debe circular. Se consideran además aspectos técnicos como el largo del carretón para garantizar el cumplimiento de los radios de giro hasta

el terreno de destino. Para la instalación final del módulo, resulta indispensable el uso de una grúa.

Este tipo de módulos constructivos representa una alternativa que contribuye significativamente a la reducción del impacto ambiental generado por las obras de construcción. Tal como se ha evidenciado en el análisis, la cantidad de residuos producidos es mínima, tanto en lo referido a sobrantes de acero como de hormigón. Asimismo, el proceso de fabricación se desarrolla dentro de un parque industrial, lo que permite que los efectos asociados a la contaminación acústica, la emisión de polvo y las vibraciones se concentren en un entorno controlado, sin afectar el confort ni la calidad de vida de las áreas residenciales.

En el emplazamiento final, la generación de impactos ambientales es también reducida, dado que las tareas que restan por ejecutar se limitan principalmente a la construcción de fundaciones y a trabajos complementarios de terminación. Dichas actividades producen niveles de contaminación notablemente menores en comparación con los que implica la ejecución completa de una obra gris en sitio.

Por lo tanto, los módulos de HÜGA pueden considerarse una alternativa acertada y eficiente para responder a la problemática ambiental vinculada con la contaminación en obra. A su vez, esta modalidad de construcción no solo ofrece beneficios ambientales, sino que también aporta un valor social, al favorecer procesos productivos más ordenados, rápidos y seguros para los trabajadores, así como una menor afectación a la comunidad en general.



Imagen 2. Fotografía tomada en la visita realizada a la planta de HÜGA.

6.1.3. MÓDULOS ECOSAN S.A.

Por último, se analizan los módulos metálicos habitacionales fabricados por la empresa ECOSAN S.A. Esta tipología constituye una línea de productos diseñada para ofrecer máximos niveles de confort y aislación térmica, independientemente del lugar en que sean instalados.

Una de sus principales ventajas es la transportabilidad, ya que los módulos pueden ser trasladados en camiones tradicionales gracias a sus dimensiones estandarizadas. Asimismo, cuentan con la posibilidad de apilarse en dos o tres niveles, conformando estructuras prácticas y compactas que optimizan la ocupación del suelo. En el caso de las soluciones móviles, se montan sobre trineo, lo que facilita tanto su transporte como su colocación en destino.

La empresa fabrica módulos con longitudes variables entre 2,40 m y 12,00 m, y anchos que oscilan entre 2,44 m y 3,20 m, de acuerdo con el uso previsto. Estos diseños están especialmente concebidos para su utilización en contextos de climas rigurosos, caracterizados por bajas o altas temperaturas extremas, fuertes vientos o tormentas. Para ello incorporan paneles termoaislantes que garantizan un adecuado confort térmico en condiciones adversas.

Los módulos se entregan totalmente terminados de fábrica, de manera que solo requieren la nivelación previa del terreno para asegurar su estabilidad. En la Imagen 3 se puede observar el módulo ya instalado. Este procedimiento posibilita un montaje rápido y ágil en obra, reduciendo considerablemente los tiempos tradicionales de construcción. Además, los usuarios pueden personalizar las unidades mediante el amueblamiento y la decoración interior.

Otra característica destacable es su reutilización ilimitada, siempre que se asegure un uso y mantenimiento apropiado, lo que contribuye a una mayor amortización de la inversión. En este sentido, ECOSAN prioriza materiales de larga vida útil y bajo mantenimiento, con soluciones constructivas que buscan optimizar la durabilidad.

Desde el punto de vista técnico, los módulos cuentan con un chasis metálico robusto, chapas de acero galvanizadas y pre pintadas, y paneles termoaislantes de alta resistencia. Se trata de estructuras relativamente livianas y maniobrables, lo que facilita su colocación en conjunto mediante ensamblaje o superposición.

En cuanto a su diseño, incorporan tecnologías sustentables, entre ellas paneles autoportantes con núcleo de poliestireno expandido (EPS), un material con excelentes propiedades aislantes, superior al ladrillo tradicional. El sistema estructural se compone de

perfiles metálicos galvanizados sobre una platea de hormigón armado de 20 cm de espesor. La cubierta se resuelve con paneles de techo con núcleo de EPS de 100 mm, mientras que los muros se conforman por paneles autoportantes del mismo espesor, con terminaciones interiores en placas OSB y yeso (Durlock) pintadas al látex, y acabados exteriores que incluyen revestimiento plástico tipo Tarquini, madera o piedra natural, según proyecto. Además, los módulos pueden incorporar sistemas de calefacción mediante losa radiante.

La empresa orienta sus diseños a la eficiencia energética, considerando aspectos como la ubicación de aberturas, la prevalencia de la iluminación natural, el espesor de paneles, el uso de carpinterías con doble vidriado hermético (DVH) y la selección de equipos de climatización de alta performance.

En materia de certificaciones, la compañía cuenta con la Norma ISO 14.001 de Gestión Ambiental para todos sus procesos de producción, así como con la Norma ISO 9.001 de Gestión de Calidad, lo que garantiza la estandarización, control y confiabilidad de sus productos.

Se considera que esta alternativa es la más adecuada entre las analizadas, ya que responde plenamente al objetivo planteado. Su principal ventaja radica en que prácticamente no genera desperdicios en obra, dado que el módulo se entrega completamente terminado desde fábrica. Además, cuenta con la certificación ISO 14.001, lo que garantiza un estándar elevado en materia de gestión ambiental. Por estas razones, se entiende que se trata de una opción altamente eficiente, tanto en términos constructivos como en el cuidado del medio ambiente.

A pesar de que la propuesta cumple con la premisa de disminuir la contaminación en obra, presenta limitaciones respecto a la normativa de transporte vigente, ya que los módulos poseen anchos variables entre 2,44 m y 3,20 m, mientras que la reglamentación establece un ancho máximo permitido para el transporte de 2,60 m. Esta variabilidad dimensional implica la necesidad de gestionar permisos especiales de circulación para el traslado de aquellos módulos que excedan las dimensiones reglamentarias, lo cual introduce complejidades operativas y posibles demoras en la ejecución del proyecto.



Imagen 3. Módulos de ECOSAN S.A.

6.2. SISTEMA MODULAR PROPUESTO

Repensando el modelo planteado en el trabajo final de arquitectura, se considera que el mismo podría ser viable siempre que sus dimensiones se reduzcan de modo tal que el módulo resulte transportable. No obstante, al carecer de cerramientos, como se mencionó previamente, continúa presentando desperdicios en obra, lo que disminuye su eficiencia ambiental.

En contraposición, la solución propuesta por HÜGA, en la cual el módulo sale de fábrica prácticamente finalizado y las tareas en obra son mínimas, constituye una alternativa eficiente para reducir la generación de residuos. Sin embargo, su conformación íntegramente en hormigón armado presenta una limitación importante: la dificultad para realizar futuras ampliaciones, ya que la demolición parcial de tabiques de hormigón resulta compleja y poco práctica.

Ante esta problemática, la incorporación de un módulo metálico se plantea como una solución más conveniente. Este sistema, además de salir de fábrica con todas las instalaciones y terminaciones completas, ofrece la posibilidad de ampliaciones posteriores mediante la conexión con nuevos módulos con mayor facilidad.

Por estas razones, se propone en este trabajo un módulo de estructura resistente metálica inspirado en el modelo planteado por la tesis de arquitectura, adaptado para ser transportable, fabricado con cerramientos terminados e instalaciones integradas, y con capacidad de expansión futura. De este modo, la solución propuesta no solo responde al objetivo de reducir los contaminantes asociados a la construcción, sino que también aporta flexibilidad y sustentabilidad al sistema constructivo.

Cabe destacar que la caja de ascensores y escaleras se resuelve con el mismo sistema constructivo, pero con distintas dimensiones a los módulos habitacionales.

7. DISEÑO DE LOS MÓDULOS

7.1. MÓDULO HABITACIONAL

Para determinar las dimensiones adecuadas de los módulos, resulta necesario analizar en primer lugar la normativa de transporte vigente, la cual, si bien fue mencionada previamente, no ha sido desarrollada en detalle.

7.1.1. NORMATIVA DE TRANSPORTE

La Ley Nacional de Tránsito N.º 24.449 y su decreto reglamentario establece las dimensiones máximas que se pueden transportar si la necesidad de permisos adicionales, con el objetivo de preservar la seguridad vial y la infraestructura existente. Estas dimensiones son las siguientes:

Ancho máximo: 2,60 m para todo tipo de vehículos y su carga. Este valor responde a la necesidad de compatibilizar la circulación en calzadas de ancho estándar y evitar interferencias con la señalización, los cercos y los gálibos de las rutas.

Altura máxima: 4,10 m para unidades afectadas al transporte de pasajeros y 4,30 m para unidades destinadas al transporte de cargas. Esta diferenciación se establece en función de los gálibos de puentes, pasos bajo nivel y demás estructuras de la red vial nacional.

- Largo máximo, según la configuración vehicular:
- Camión simple: 13,20 m.
- Camión con acoplado: 20,00 m.
- Camión y ómnibus articulados: 18,60 m.
- Unidad tractora con semirremolque (vehículo articulado) y acoplado: 20,50 m.
- Unidad tractora con dos semirremolques biarticulados (bitrén): 30,25 m.
- Ómnibus de larga distancia: 15,00 m, con la posibilidad de aplicar límites menores en servicios urbanos, dependiendo de las características de la red vial y la normativa local.

En cuanto a la normativa provincial, se encuentra la Ley Provincial de Tránsito N.º 8.560. En la misma se adoptan las dimensiones mencionadas en la Ley Nacional, excepto el gálibo máximo permitido, que disminuye a un valor de 4,10 m.

Si el módulo se encuentra en este rango de medidas, su transporte por rutas tanto nacionales como provinciales no requerirá de la solicitud de permisos, en caso contrario, se deben gestionar los mismos. El cumplimiento de estos aspectos es beneficioso ya que, si se

requieren permisos, aumenta el costo de transporte y disminuye la posibilidad de acceso a determinados sectores.

Si se planifica el transporte de los módulos en un semirremolque plano estándar, de 13,60 m de largo y 2,60 m de ancho, con las medidas adoptadas de 2,60 m x 6,00 m, representado de forma esquemática se obtiene:

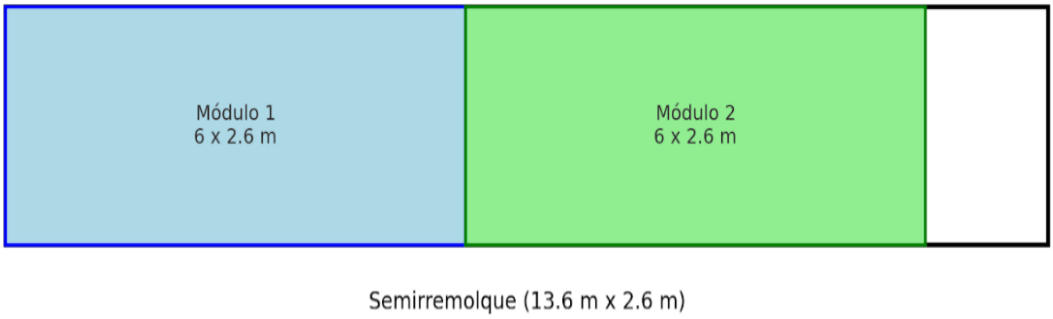


Figura 1. Disposición de los módulos en el camión de traslado.

Como se observa, se pueden transportar dos módulos por viaje. Esto evidencia que se optimiza al máximo el transporte, debido a que se aprovecha el espacio útil casi al máximo, quedando un margen de seguridad de aproximadamente 1,60 m, y en cuanto al ancho, el módulo coincide exactamente con el máximo permitido por ley.

Por otro lado, se debe analizar el gálibo permitido. La altura de los módulos se planifica de 2,60 m totales, de modo que, sumado a la altura del semirremolque que varía entre los 1,40 y 1,50 m, se obtienen valores inferiores o muy próximos a los 4,10 m máximos.

7.1.2. DIMENSIONES ADOPTADAS

De este modo, las dimensiones adoptadas para los módulos son: 2,60 x 6,00 m en planta, con una altura de 2,60 m.

En la Figura 2 se presentan las dimensiones recién mencionadas, en donde se pueden observar los elementos que componen la estructura de los mismos.

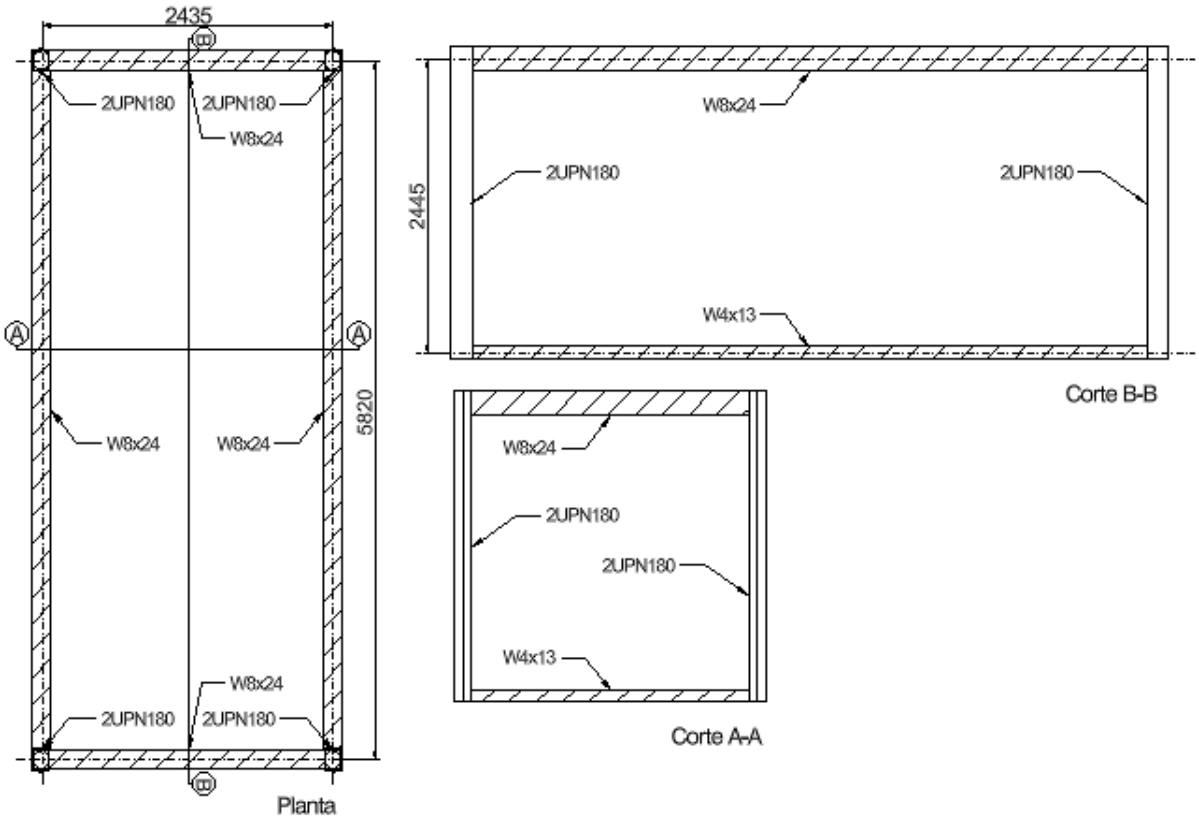


Figura 2. Dimensiones adoptadas para el módulo habitacional.

7.1.3. MATERIALES DE LOS MÓDULOS HABITACIONALES

7.1.3.1. Estructura portante

Se adopta un sistema estructural resistente principal conformado por columnas y vigas de perfiles metálicos laminados, vinculados mediante uniones abulonadas y/o soldadas según corresponda. Este esqueleto metálico constituye el sistema portante del edificio, encargado de resistir y transmitir a la fundación las acciones actuantes, tales como cargas permanentes (peso propio), cargas variables, acciones sísmicas, acciones de viento y solicitaciones derivadas del transporte y montaje de los módulos prefabricados.

7.1.3.2. Cerramientos

El material adoptado para los cerramientos de los módulos es Steel Framing. Se trata de un sistema de construcción en seco con el cual se puede hacer todo tipo de diseño y se pueden contar con distintos proveedores de materiales en todo el país.

Es importante destacar que el sistema debe ser calculado mediante CIRSOC 303 - Reglamento Argentino de Estructuras de Acero Conformado en Frío. En el caso de los módulos adoptados, el sistema debe ser verificado mediante el reglamento mencionado, pero no constituye la estructura resistente principal de los mismos.

Este tipo de construcción trae consigo las siguientes ventajas:

- Eficiencia energética: La configuración propia de los sistemas en seco permite alojar en el interior de los paneles y entre los perfiles que conforman su estructura los aislantes térmicos y acústicos. Un muro en Steel Framing posee una transmitancia térmica que implica, en promedio, un 30% de la que provee el mismo muro en construcción húmeda, permitiendo así un ahorro de energía de calefacción y acondicionamiento del 60% al 70%, algo sumamente valioso si consideramos que reducir el consumo de energía es la premisa fundamental a la hora de construir en forma más sostenible. Este ahorro no solo se traduce en una reducción directa de los gastos de electricidad y gas, tanto para acondicionamiento en verano como para calefacción en invierno, sino que contribuye a disminuir las emisiones de dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero y del cambio climático.
- Reducción del consumo de agua: La construcción en seco y el Steel Framing no consumen agua durante el proceso constructivo, preservando así este valioso recurso.
- Disminución de la huella de carbono: La construcción en seco y el Steel Framing permiten una reducción promedio de la huella de carbono de una construcción mayor al 40% respecto de su variante húmeda, solo en la etapa de producción. Este valor se incrementa notablemente si se consideran las emisiones durante la vida útil, debido al ahorro de energía de calefacción y aire acondicionado.

  Un informe encargado por el Instituto de la Construcción en Seco de Argentina (INCOSE) a la Universidad de Lanús, determinó la huella de carbono hasta su puesta en obra, de 1 m^2 de muro exterior en Steel Framing y en ladrillo cerámico hueco de 18 cm de espesor, en la ciudad de Rosario, Argentina, y arrojó una disminución de la huella de carbono del muro de Steel Framing del 47% respecto del muro húmedo.

  Si bien el acero, producto fundamental en la construcción en seco, y el Steel Framing producen una gran emisión de CO_2 en su proceso de fabricación mediante alto horno, su masa en la superficie envolvente es muy baja: una pared de Steel Framing tiene, en promedio, una masa total del 20% respecto de la misma pared realizada en construcción húmeda, y esto es lo que reduce las emisiones de CO_2 por unidad de superficie.

Hoy existe la posibilidad técnica de fabricar acero sin emisiones, por diversos sistemas. Uno de ellos es a través de hornos de arco eléctrico, que utilizan chatarra como materia prima. La utilización de chatarra, hoy en día en Argentina la acería fabricante de acero plano incorpora un 16% de chatarra en los materiales cargados en el alto horno, reduce la cantidad de energía para fabricar acero y también las emisiones.

- Sitios de obra más reducidos: La utilización de materiales estandarizados como perfiles, placas de yeso, placas de cemento, reduce el tamaño de los obradores, minimizando los inconvenientes a vecinos y habitantes.
- Menor desperdicio: Los perfiles de acero galvanizado se pueden entregar cortados a las longitudes necesarias, reduciendo los desperdicios a valores tan bajos como el del 1%. Las placas de yeso se proveen hoy en varios largos estándar, reduciendo también los recortes.
- Disposición final, reúso y reciclabilidad: En muchos casos, los perfiles de acero pueden reutilizarse al finalizar la vida útil de la construcción, ya que su durabilidad es superior a la vida útil de proyecto, o reciclarse. El acero es el material de construcción mundialmente más reciclado. No pierde masa durante el proceso ni guarda memoria de usos anteriores, debido a la posibilidad de agregar o retirar elementos aleantes en el horno de aleación. Lo que hoy es una heladera se transformará en un perfil para construcción en seco y, al finalizar su vida útil, ese perfil será parte de un automóvil. Asimismo, como mencionamos anteriormente, el reciclado del acero permite ahorrar energía en el proceso de fabricación. El resto de los materiales que intervienen en la construcción en seco son reciclables en mayor o menor medida.
- Sistema liviano: El poco peso de los perfiles, permite usarlos sin necesidad de medios auxiliares. Hace posible construir un nuevo forjado sin introducir cargas a la estructura existente. Permite elevar alturas sobre edificaciones existentes sin tener que reforzar la cimentación. Su uso como sistema estructural para edificación permite conseguir importantes ahorros sobre todo en la parte de cimentación, dado que las cargas transmitidas al terreno son muy inferiores a las de cualquier sistema tradicional, en la mayoría de los casos, una solera de 15 cm es suficiente.
- Estructura del muro: La estructura se compone de perfiles de acero galvanizado. Los perfiles están normalizados, lo que significa que son clones perfectos unos con

otros, por lo cual su respuesta a cargas es siempre la misma y en consecuencia se puede predecir con precisión su comportamiento estructural.

Hasta ahora ha tenido poca difusión como sistema estructural para edificación porque tiene que luchar contra la prevalencia de sistemas tradicionales y se enfrenta tanto al desconocimiento generalizado del público como de los profesionales de la construcción. Los paneles pueden ser portantes o no portantes.

Un muro de Steel Framing típico se compone por un sistema multicapa conformado por (de interior a exterior):

- Revestimiento interior (Placa de roca de Yeso);
- Barrera de Vapor;
- Perfil de acero galvanizado PGC;
- Lana de Vidrio (entre montantes PGC);
- Tablero de rigidización (OSB o multilaminado fenólico);
- Barrera contra agua y viento;
- Revestimiento exterior (EIFS, Ladrillo, Siding, etc.).

En cuanto a la estabilidad de estas estructuras frente a las acciones del viento y de los terremotos puede afirmarse que al estar formados por paneles con armazones de acero y revestimientos estructurales de OSB o multilaminados, poseen una apreciable rigidez y resistencia. El hecho de tratarse de construcciones esencialmente livianas es una ventaja sismorresistente.

En cuanto a la acción del viento, siendo estas construcciones de pesos reducidos comparadas con las de albañilería es natural que la acción de fuertes vientos puede ser el caso crítico. Debe asegurarse que todos los muros resistan las fuerzas de fuertes vientos y que los pisos y el techo actúen como diafragmas para asegurar la adecuada distribución equilibrada de las fuerzas laterales. En este sentido, no es prudente el uso de aberturas grandes que sobrepasen lo permitido, ni la adopción de plantas asimétricas.

En la Figura 3 se puede observar la composición estructural de un muro de Steel Framing.

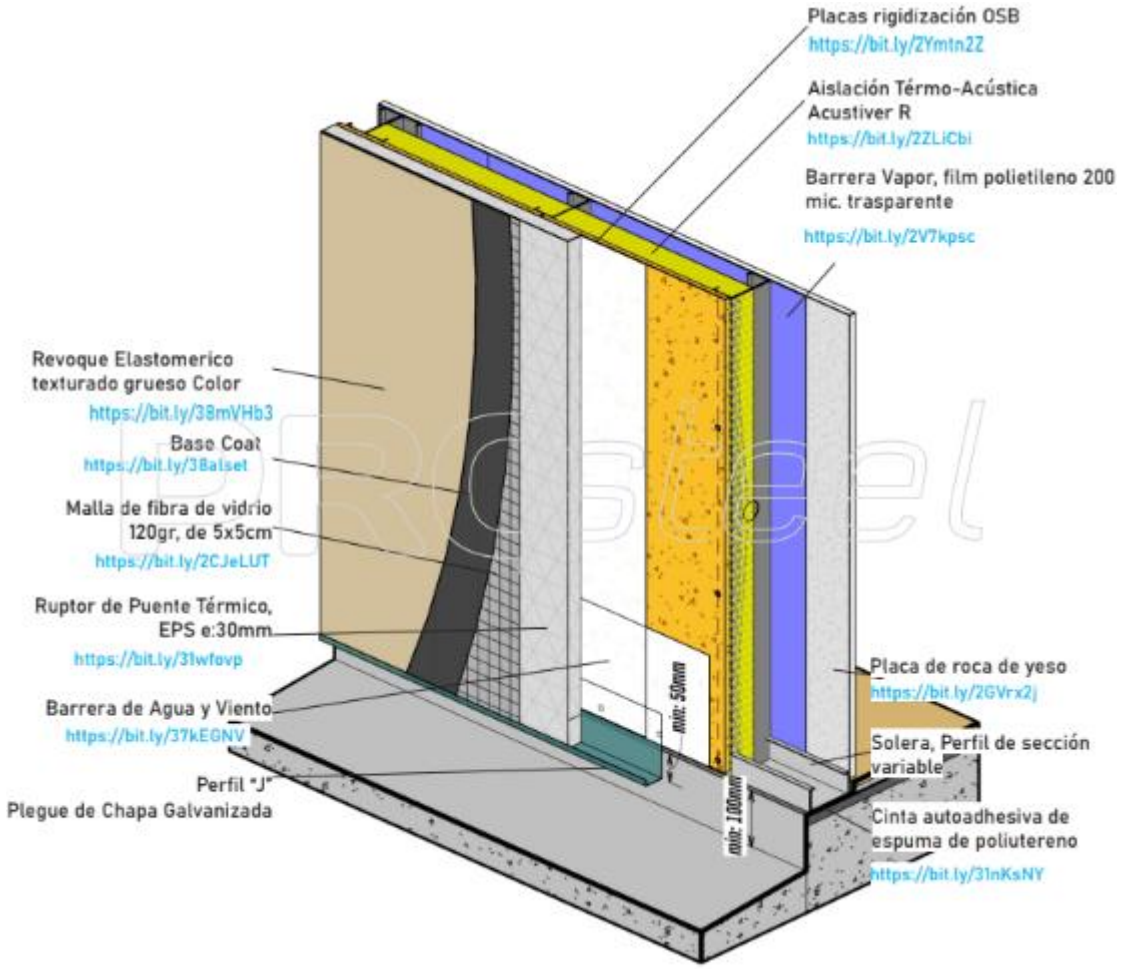


Figura 3. Estructura de muro de Steel Framing.

7.1.3.3. Entrepisos

El entrepiso de los módulos se resolverá mediante el sistema Steel Framing, de acuerdo a la Figura 4. En este caso, la estructura de piso deberá vincularse adecuadamente a las vigas superiores e inferiores, garantizando la correcta transmisión de cargas hacia los elementos resistentes.

Estos entrepisos estarán conformados por viguetas metálicas de perfiles conformados en frío, tipo U o tipo C, dispuestas según la dirección principal de trabajo. Dichas viguetas se conectarán a un perfil de borde paralelo a la solera y solidario a la misma. Cuando las condiciones estructurales lo requieran, deberá contemplarse la incorporación de rigidizadores de alma para evitar deformaciones locales y mejorar el comportamiento resistente de las uniones.

Asimismo, la estructura del entrepiso podrá incorporar viguetas secundarias, ubicadas transversalmente a las principales, con el fin de colaborar en la distribución de cargas y aumentar la rigidez del conjunto.

En cuanto al material de revestimiento superior, podrá ejecutarse mediante placa cerámica o paneles estructurales de OSB, fijados mecánicamente a la perfilería metálica, conformando una base resistente y apta para la posterior terminación del piso.

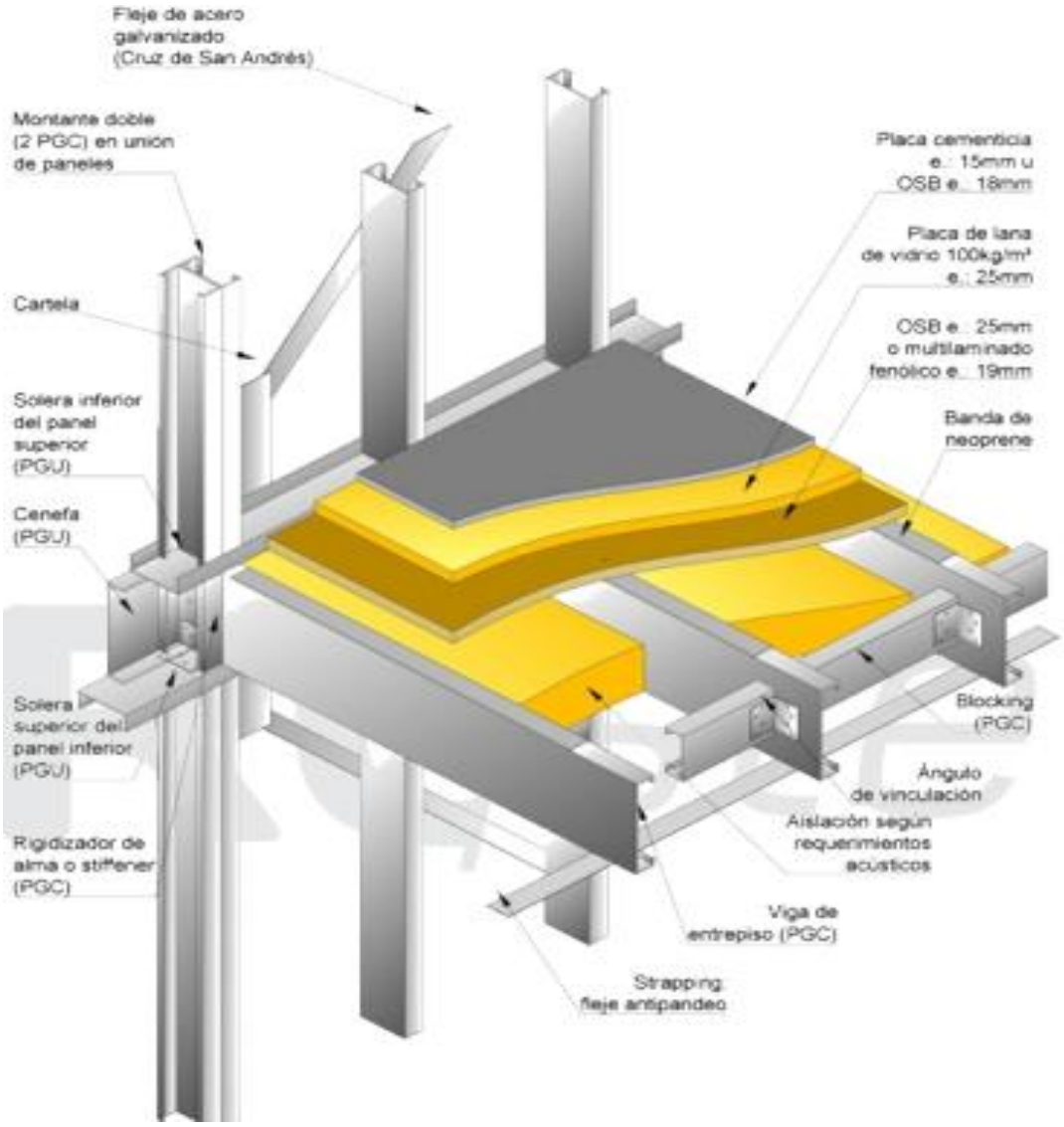


Figura 4. Composición del entrepiso de Steel Framing.

7.1.3.4. Cubierta

La cubierta, tanto del edificio como de la vivienda unifamiliar, se resolverá mediante una cubierta plana no transitable, con pendientes mínimas del 2%, a fin de garantizar el correcto escurrimiento del agua hacia los correspondientes desagües pluviales.

La estructura resistente de la cubierta podrá conformarse de manera análoga a la de los entrepisos, mediante perfilería metálica liviana tipo Steel Framing vinculada a la estructura portante principal de acero, como se observa en la Figura 5, considerando las solicitaciones específicas de servicio, mantenimiento, viento y eventuales sobrecargas accidentales.

A diferencia del entrepiso, la cubierta deberá incorporar un sistema integral de impermeabilización, destinado a evitar filtraciones y el ingreso no deseado de agua. Asimismo, deberá contar con una adecuada aislación térmica y acústica, a fin de mejorar el comportamiento higrotérmico interior y contribuir al confort de los espacios habitables.

Esto podrá resolverse mediante la incorporación de mantas o paneles de lana de vidrio como aislante termoacústico, complementados con membranas o recubrimientos impermeabilizantes, como membrana asfáltica o sistemas líquidos elastoméricos, además de una correcta ejecución de babetas, encuentros perimetrales y remates en parapetos, especialmente en los puntos singulares de la cubierta.

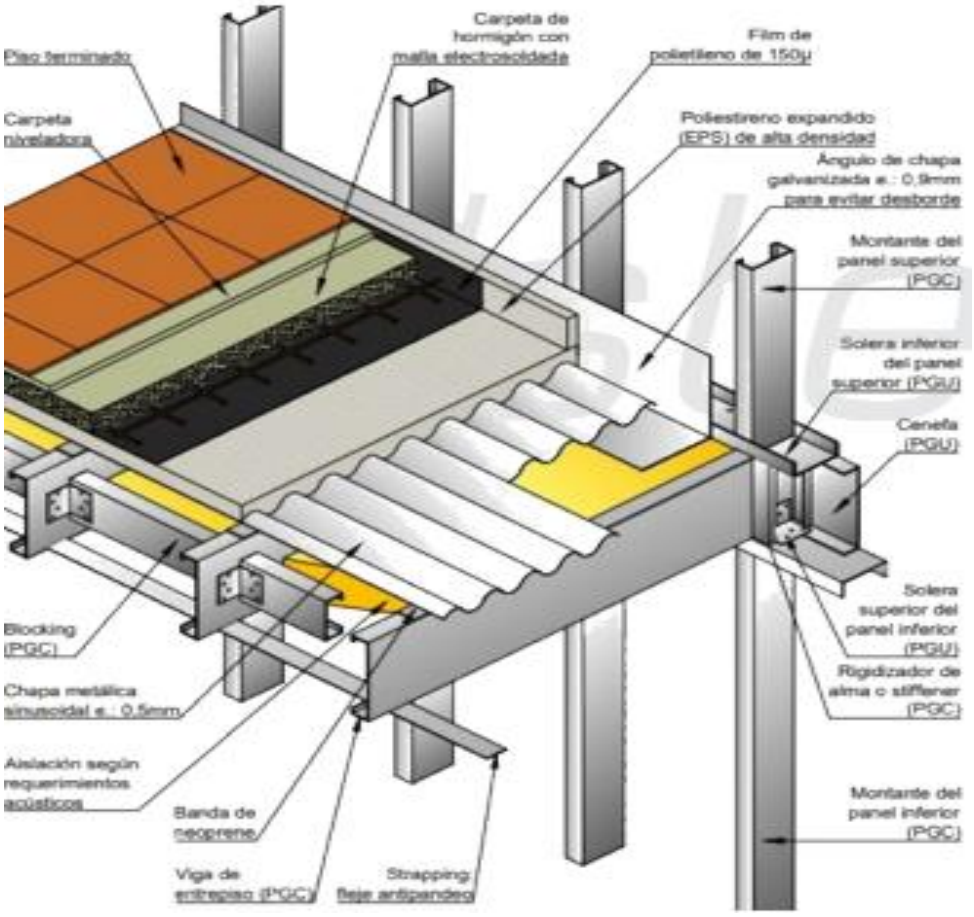


Figura 5. Composición de la cubierta de Steel Framing.

7.2. NÚCLEO DE CIRCULACIÓN VERTICAL

Para la incorporación de la circulación vertical dentro del edificio, se diseña un núcleo independiente de hormigón armado, destinado a albergar tanto los ascensores como las escaleras. Sus dimensiones se determinan en función de los requerimientos mínimos necesarios para el desarrollo de ambos sistemas de circulación vertical. Este núcleo no transmite cargas a los entrepisos de la estructura modular metálica, sino que se vincula a ella únicamente con el fin de contribuir a la estabilidad del conjunto. Debido a los requerimientos de rigidez y estanqueidad propios de las cajas de escaleras y ascensores, se adopta para su ejecución una estructura de hormigón armado construida in situ.

7.2.1. DIMENSIONES DEL ASCENSOR

Según la Ordenanza N.º 10.741 de la ciudad de Córdoba, todo edificio de piso bajo y más de tres pisos altos, deberá llevar obligatoriamente uno o más ascensores. La totalidad de los ascensores para público deberán disponer de cierre automático de sus puertas, con cierre simultáneo de coche y pasadizo y una dimensión mínima de las mismas de ochenta centímetros (0,80 m) por dos metros (2,00 m) de altura, para permitir el acceso a discapacitados.

La capacidad de transporte será medida por el número de pasajeros que puedan ser trasladados en un determinado período de tiempo, que garantice la correcta evacuación. Para todos los casos de instalación de ascensores, deberá verificarse que, simultáneamente puedan ser utilizados por no menos del cinco por ciento (5%) de los habitantes de los edificios de uso habitacional, (departamentos de viviendas) y no menos del siete por ciento (7%) de los usuarios de edificios de oficinas o de usos múltiples.

En este caso, el edificio se proyecta para 38 habitantes de uso habitacional, por lo que el ascensor debe ser considerado para 2 personas. Sin embargo, desde el punto de vista práctico y comercial, los ascensores residenciales estándar poseen capacidades mínimas de 4 a 6 personas, por lo que la exigencia normativa queda ampliamente satisfecha con un equipo típico de 450 kg (6 personas).

Las dimensiones mínimas establecidas para los coches, deberá ser de un metro diez centímetros (1,10 m) de ancho por un metro treinta centímetros (1,30 m) de profundidad, coincidiendo con las dimensiones estándar de una cabina tipo 1, para 6 personas.

Trabajando con una cabina tipo 1 con contrapeso al fondo, las dimensiones estandarizadas según las normas deben ser:

- Hueco: 1600 x 1750 (mm);

- Interior de cabina: 1100 x 1300 (mm);
- Entrada de cabina: 800 (mm);
- 450 kg;
- 6 pasajeros.

7.2.2. DIMENSIONES DE LA ESCALERA

La escalera constituye uno de los principales medios de circulación vertical y de evacuación del edificio, garantizando la comunicación segura entre los distintos niveles. Su diseño debe responder a criterios de seguridad, accesibilidad y confort, cumpliendo con las disposiciones establecidas en el Código de Edificación de la Ciudad de Córdoba, así como con los principios ergonómicos de diseño que aseguran una circulación eficiente y segura para los usuarios.

En el presente proyecto, correspondiente a un edificio de viviendas colectivas desarrollado en cinco pisos (PB + 4), la escalera se proyecta como medio principal de evacuación, vinculando todos los niveles del edificio y asegurando condiciones adecuadas de uso cotidiano y emergencia. Se adopta una solución de dos tramos rectos con descanso intermedio, sin la utilización de escalones compensados, en concordancia con las exigencias normativas vigentes.

El dimensionado de la escalera se realiza considerando:

- Altura de piso a piso: 2,60 m;
- Uniformidad de escalones, garantizando igualdad en todas las contrahuellas y huellas;
- Relación de comodidad, determinada mediante la fórmula de Blondel:

$$2ch + h = 63\ [cm]$$

donde ch es la contrahuella y h la huella.

Los valores ideales para escaleras de edificios residenciales se encuentran dentro de los rangos establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones ideales para escaleras de edificios residenciales.

PARÁMETRO	RANGO RECOMENDADO
Contrahuella (ch)	16 – 18 cm
Huella (h)	27 – 30 cm
Relación de Blondel	60 – 65 cm

Para una altura de piso a piso de 2,60 m, el número de contrahuellas se obtiene mediante:

$$n = \frac{H}{ch} = \frac{260}{18} = 15{,}29$$

Es decir, adoptando 15 contrahuellas, se vuelve a utilizar la misma relación, pero para calcular la dimensión de las mismas:

$$ch = \frac{H}{n} = \frac{260}{15} = 17{,}33\ cm$$

Siguiendo la Relación de Blondel es posible determinar el valor de huella adecuado para la contrahuella adoptada:

$$2ch + h = 63\ cm$$

$$h = 63\ cm - 2ch$$

$$h = 63\ cm - 2 \times 17{,}33\ cm$$

$$h = 28{,}33\ cm$$

La escalera se organiza en dos tramos rectos con un descanso intermedio que tiene una longitud igual al ancho de la escalera, garantizando condiciones adecuadas de circulación y maniobra.

De esta manera, los valores finales de la escalera se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores finales del dimensionado de la escalera.

PARÁMETRO	VALOR ADOPTADO (cm)
Contrahuella (h)	17,33
Huella (h)	28,33
Relación de Blondel	62,99
Ancho libre de la escalera	110
Ancho del descanso	110

7.2.3. DIMENSIONES EN PLANTA DEL NÚCLEO DE CIRCULACIÓN VERTICAL

Finalmente, se diseña un núcleo cuyas dimensiones permitan albergar ambos elementos de la circulación vertical, y que nos permita conectar los demás módulos para darle estabilidad a la estructura. En la Figura 6 se observan los elementos que componen la estructura del mismo.

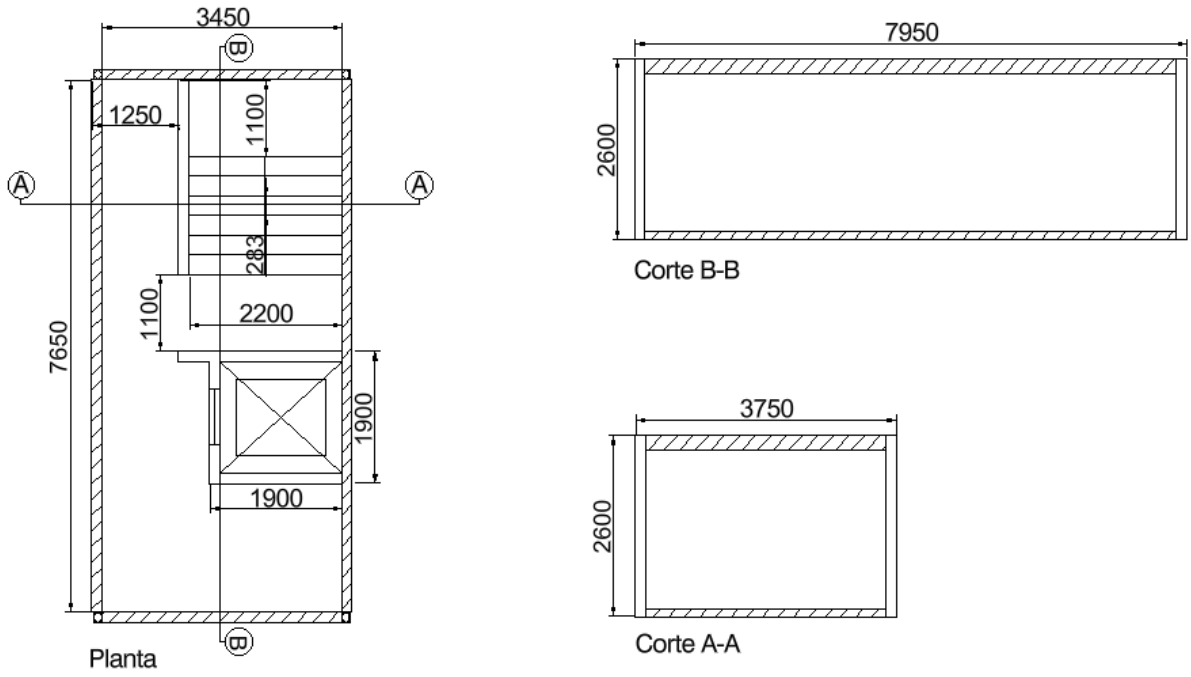


Figura 6. Dimensiones finales para el núcleo de circulación vertical.

7.2.4. CARGAS ACTUANTES EN EL NÚCLEO CV

Las cargas debidas al ascensor, que deben ser consideradas en el cálculo estructural y en las verificaciones necesarias para transporte y montaje, son:

- Cargas permanentes: peso propio de la estructura autoportante del módulo, peso de guías, peso de la máquina y sus soportes, si corresponde, peso de cabina, peso de contrapeso, peso de puertas de piso y bastidores, cerramientos del hueco.
- Cargas variables/de servicio: carga útil nominal de la cabina, cargas de mantenimiento/montaje, posibles sobrecargas locales en apoyos y anclajes.
- Cargas dinámicas: efectos de aceleración y frenado de cabina y contrapeso, impactos o incrementos dinámicos sobre guías y soportes, acciones por desnivel o excentricidades, vibraciones transmitidas a la estructura, acciones horizontales sobre guías por funcionamiento.

7.2.5. SALA DE MÁQUINAS

En este caso, se opta por la colocación de un ascensor MRL (Machine Room Less), es decir, un ascensor que opera sin sala de máquinas, como se puede observar en la Imagen 4.

Los mismos utilizan una máquina de tracción sin engranajes con cables de acero y un control de frecuencia variable por lazo cerrado, esto permite lograr una excepcional precisión

de parada (+/- 3 mm) resultando en un viaje suave, silencioso y confortable. El equipo de tracción es compacto y silencioso; se instala en una pequeña cámara debajo de la última losa, de fácil acceso al personal técnico, el tablero de control se integra al conjunto marco - frente integral de la última parada. La ubicación de la motorización reduce significativamente el ruido de un equipo tradicional, que normalmente afecta a las unidades vecinas a su ubicación.

Dependiendo de la legislación vigente, la instalación de ascensores MRL permiten, en algunos casos, utilizando la altura máxima permitida construible, la llegada del ascensor a la terraza, generando un acceso directo y quedando esta última planta integrada al edificio de manera óptima. En otros casos permite convertir la terraza, o una fracción de su superficie, en una nueva planta que puede destinarse a la construcción de departamentos o espacios de uso común. Se encuentra ello como una gran ventaja, permitiendo en un futuro considerar una terraza transitable sin necesidad de modificar los accesos a la misma.



Imagen 4. Ascensor MRL (Machine Room Less).

8. DISEÑO DE VIVIENDA UNIFAMILIAR DE UNA PLANTA

8.1. PLANTA DE ARQUITECTURA

La vivienda unifamiliar proyectada cuenta con una planta, en la que se disponen dos habitaciones y dos baños completos.

La misma cuenta con $96{,}3\ m^2$ de superficie construida, y se proyecta considerando las dimensiones mínimas del Código de Edificación de la Ciudad de Córdoba.

8.1.1. CÓDIGO DE EDIFICACIÓN - ORDENANZA 9.387/95

Al momento de realizar los diseños en plata, se debe considerar las dimensiones mínimas determinadas en el Código de Edificación de la Ciudad de Córdoba, que nos brinda estos mínimos reglamentarios para la habitabilidad de los espacios.

8.1.1.1. RELACIÓN DE SUPERFICIE

En viviendas, se considera una superficie mínima de $12\ m^2$ por persona. Esta relación se cumple en la unidad proyectada ya que, si se considera que la vivienda es para 4 personas, se disponen de una superficie equivalente a $23{,}4\ m^2$ por persona.

Asimismo, se excede el mínimo requerido de $60\ m^2$ totales para viviendas de dos dormitorios, alcanzando una superficie total de $93{,}6\ m^2$.

8.1.1.2. DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS LOCALES

Las dimensiones mínimas para cada local o ambiente están determinadas por el Código de Edificación.

Como se puede observar en la Tabla 3, las dimensiones proyectadas satisfacen todas las condiciones requeridas.

Tabla 3. Dimensiones de los ambientes de la vivienda proyectada.

AMBIENTE	CÓDIGO DE EDIFICACIÓN		PROYECTADO		VERIFICACIONES	
	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)
Dormitorio	2,50	9,00	3,00	10,36	Verifica	Verifica
Baño c/ducha	1,10	2,60	1,70	4,76	Verifica	Verifica
Cocina – comedor	1,50	2,40	2,14	25,95	Verifica	Verifica
Toilette	0,90	1,20	1,30	4,00	Verifica	Verifica

8.1.2. DETALLE DE PLANTA

Cabe destacar que la vivienda está conformada por una única planta compuesta por seis módulos habitacionales. Por lo tanto, para el traslado de la totalidad de los elementos que la constituyen, se requerirán tres viajes, considerando el transporte de dos módulos por traslado.

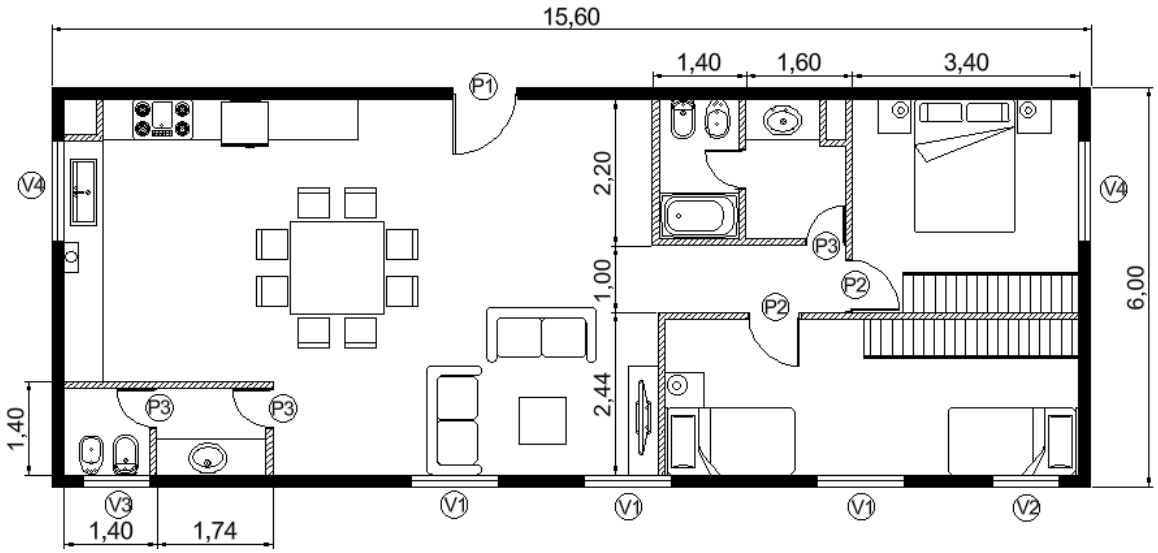


Figura 7. Planta arquitectónica de la vivienda proyectada.

A su vez, se adjunta la planilla de aberturas correspondientes a la planta presentada.

Tabla 4. Planilla de aberturas de la vivienda proyectada.

PLANILLA DE ABERTURAS			
DESIGNACIÓN	**ANCHO (cm)**	**ALTO (cm)**	**SUPERFICIE (m^2)**
P1	100	220	2,20
P2	80	220	1,76
P3	60	220	1,32
V1	130	100	1,30
V2	100	50	0,50
V3	100	100	1,00
V4	150	100	1,50

8.2. PLANTA DE TECHOS

La planta de techos permite identificar la disposición general de la cubierta, sus pendientes, desagües pluviales y encuentros perimetrales. En este caso, al tratarse de una cubierta plana no transitable, se prevén pendientes mínimas del 1,5%, orientadas hacia los puntos de evacuación de agua de lluvia.

Asimismo, en la planta de techos se observa la disposición del tanque de reserva, parte fundamental de la instalación de agua de la vivienda.

8.2.1. TANQUE DE RESERVA

La vivienda es proyectada para alojar a 4 personas en total. Para determinar el tanque de reserva necesario, se debe plantear la dotación de agua a brindar a cada habitante por día. En el caso de la ciudad de Córdoba, se suele adoptar un valor de $250\ lts/per/día$. De este modo, el tanque de reserva deberá contar con una capacidad de:

$$Capacidad = 250 \times 4 = 1000\ litros$$

Se adopta la colocación de un tanque de 1000 litros, con estructura multicapa que garantiza la opacidad del interior del tanque, necesaria para evitar la fotosíntesis, microorganismos y bacterias asociadas. Contiene aditivos para evitar el envejecimiento y la exposición a la intemperie.

En el caso de los 1000 litros, las dimensiones del mismo para la marca Rotoplas son:

- Volumen nominal: 1000 litros;
- Volumen máximo: 1028 litros;
- Altura: 83 cm;
- Diámetro: 154 cm;
- Conexiones de salida: 1 ½'' lateral;
- Diámetro de boca: 46 cm.

8.2.2. DETALLE DE PLANTA

En la Figura 8 se presenta la planta de techos de la vivienda proyectada. En la misma se pueden observar las pendientes de la cubierta y la ubicación del tanque de reserva.

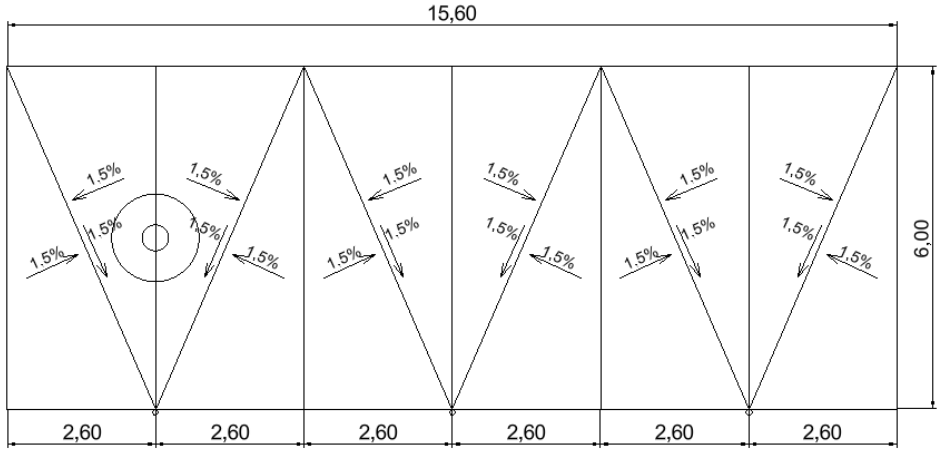


Figura 8. Planta de techos de la vivienda proyectada.

8.3. PLANTA DE ESTRUCTURA

En la Figura 9 se presenta la planta estructural, en la que se pueden observar los elementos portantes de cada módulo, encargados de dar rigidez a la vivienda y resistir las solicitaciones que se presenten. Cada módulo está conformado por 4 columnas y 4 vigas, cuyas secciones se detallan en el apartado de cálculo estructural.

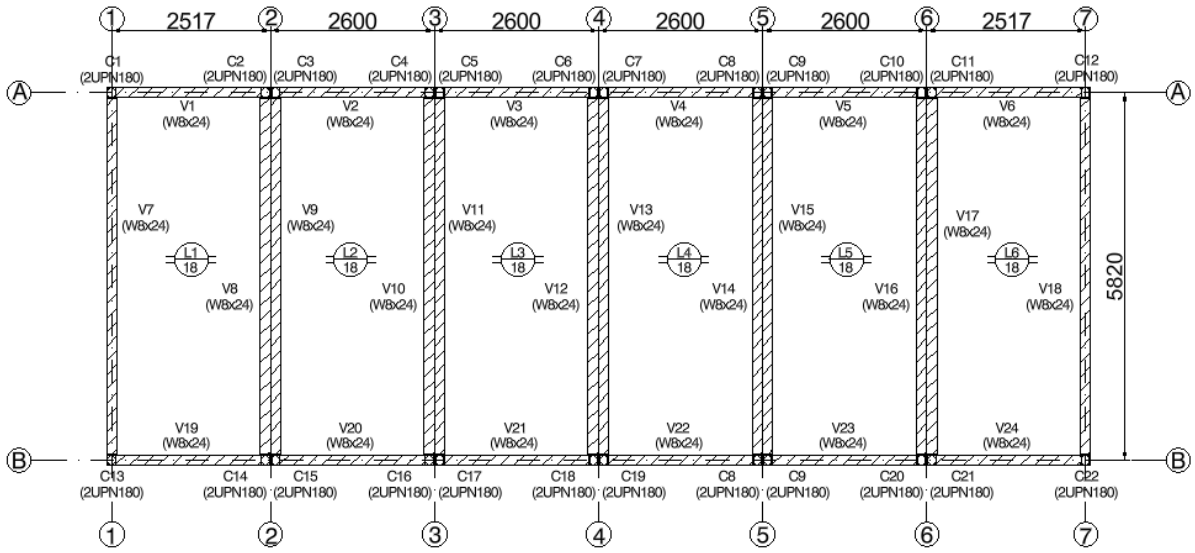


Figura 9. Planta estructural de la vivienda proyectada.

8.4. FACHADA

La fachada corresponde a la cara frontal de la vivienda y presenta una altura total de 3,00 m, compuesta por 2,60 m del módulo principal y 0,40 m adicionales de parapeto.

En cuanto a su materialidad, se utiliza revestimiento de cerámicos símil madera en los módulos centrales, mientras que los módulos restantes y el resto de las caras exteriores se resuelven con pintura blanca para exteriores. En la Figura 10 se puede observar la fachada frontal de la vivienda.

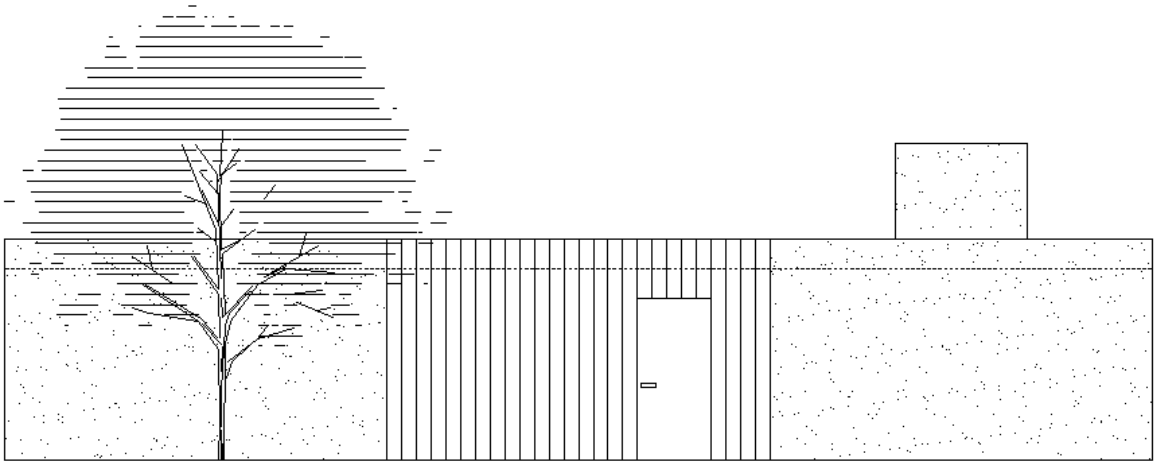


Figura 10. Fachada frontal de la vivienda proyectada.

9. DISEÑO DE EDIFICIO DE VIVIENDAS

9.1. PLANTA DE ARQUITECTURA

El edificio de viviendas proyectado cuenta con planta baja y cuatro niveles superiores. En planta baja se disponen tres departamentos, cada uno compuesto por una habitación y un baño completo. En los pisos 1 a 4 se proyectan tres unidades funcionales por nivel: dos departamentos de una habitación y un baño completo, y un departamento de dos habitaciones, con un baño completo y una toilette.

De este modo, cada la planta baja cuenta con una totalidad de 10 módulos habitacionales, mientras que los demás pisos cuentan con 12 módulos habitacionales. Sin mencionar el núcleo de circulación vertical, presente en todas las plantas.

Es importante destacar que cada planta está conformada por un número par de módulos habitacionales, lo que es beneficioso debido a que los mismos se transportan en pares.

9.1.1. CÓDIGO DE EDIFICACIÓN - ORDENANZA 9387/95

Al momento de realizar los diseños en plata, se debe considerar las dimensiones mínimas determinadas en el Código de Edificación de la Ciudad de Córdoba, que nos brinda estos mínimos reglamentarios para la habitabilidad de los espacios.

9.1.1.1. RELACIÓN DE SUPERFICIE

En edificios residenciales destinados a vivienda permanente, se considera una superficie mínima de $12\ m^2$ por persona. Esta relación se cumple en todas las unidades proyectadas, ya que los departamentos disponen de una superficie equivalente a $23{,}4\ m^2$ por persona.

Asimismo, los departamentos de un dormitorio superan la superficie mínima exigida de $40\ m^2$, contando con una superficie total de $46{,}8\ m^2$ cada uno. Por su parte, los departamentos de dos dormitorios exceden el mínimo requerido de $60\ m^2$, alcanzando una superficie total de $93{,}6\ m^2$.

9.1.1.2. DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS LOCALES

Las dimensiones mínimas para cada local o ambiente están determinadas por el Código de Edificación.

Como se puede observar en la Tabla 5, las dimensiones proyectadas satisfacen todas las condiciones requeridas.

Tabla 5. Dimensiones de los ambientes del edificio proyectado.

AMBIENTE	CÓDIGO DE EDIFICACIÓN		PROYECTADO		VERIFICACIONES	
	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)	Lado mínimo (m)	Superficie mínima (m^2)
Dormitorio	2,50	9,00	3,00	10,36	Verifica	Verifica
Baño c/ducha	1,10	2,60	1,70	4,76	Verifica	Verifica
Cocina – comedor	1,50	2,40	2,14	25,95	Verifica	Verifica

9.1.2. DETALLE DE PLANTA

Cabe destacar que el edifico está conformada 60 módulos en total. Por lo tanto, para el traslado de la totalidad de los elementos que la constituyen, se requerirán 30 viajes, considerando el transporte de dos módulos por traslado.

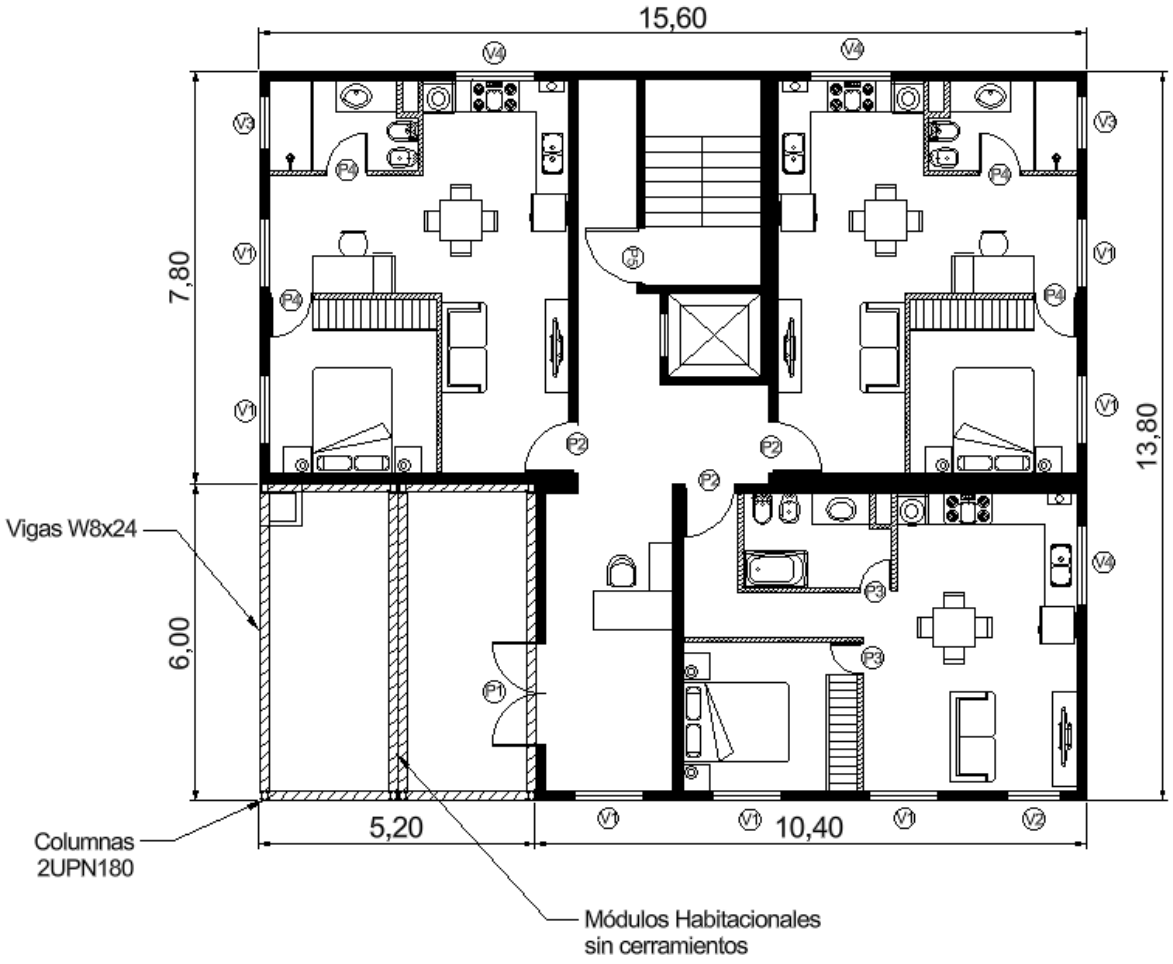


Figura 11. Planta de arquitectura de la planta baja del edificio de viviendas proyectado.

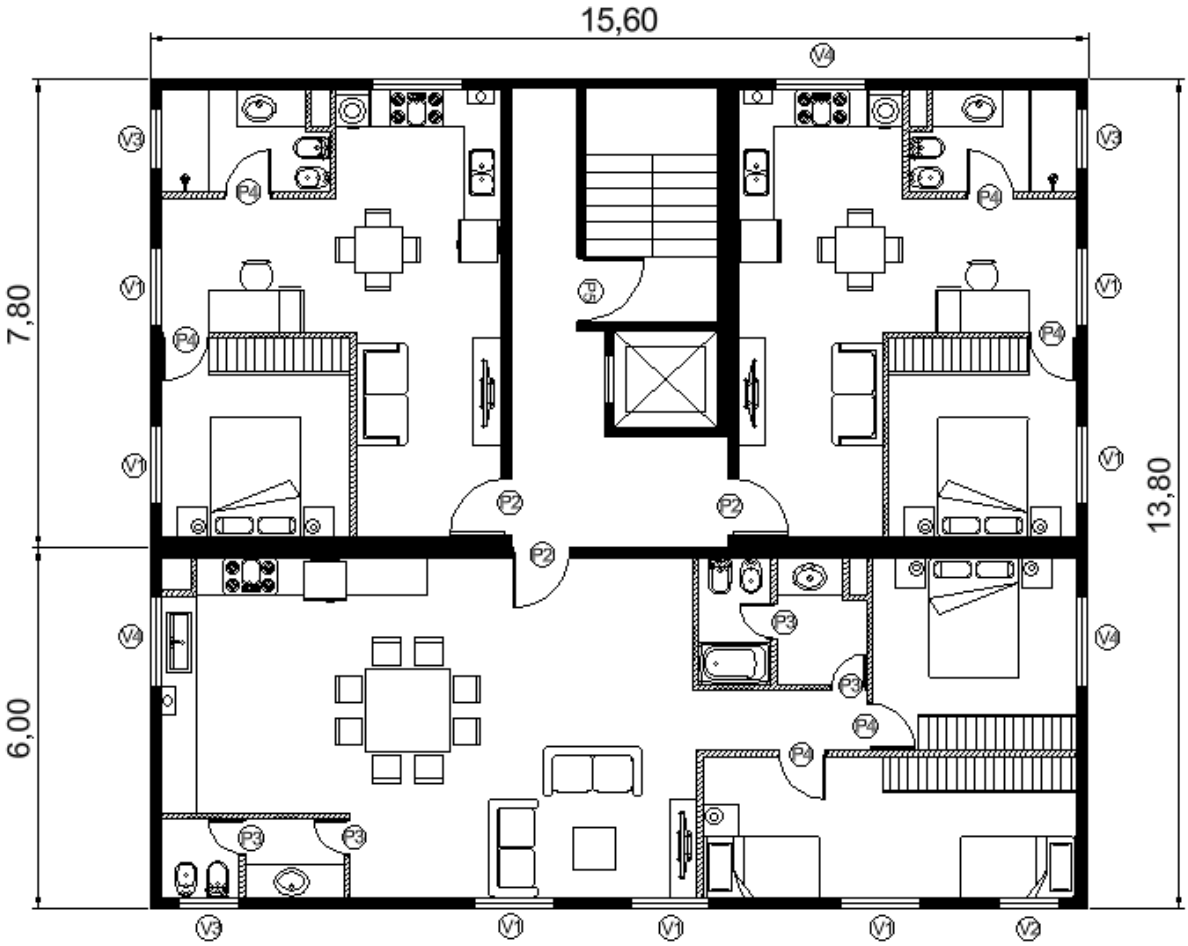


Figura 12. Planta de arquitectura de la planta tipo del edificio proyectado.

A su vez, se adjunta la planilla de aberturas correspondientes a la planta presentada.

Tabla 6. Planilla de aberturas del edificio proyectado.

PLANILLA DE ABERTURAS			
DESIGNACIÓN	**ANCHO (cm)**	**ALTO (cm)**	**SUPERFICIE (m^2)**
P1	200	220	4,40
P2	100	220	2,20
P3	60	220	1,32
P4	80	220	1,76
P5	110	220	2,42
V1	130	100	1,30
V2	100	50	0,50
V3	100	100	1,00
V4	150	100	1,50

9.2. PLANTA DE TECHOS

La planta de techos permite identificar la disposición general de la cubierta, sus pendientes, desagües pluviales y encuentros perimetrales. En este caso, al tratarse de una cubierta plana no transitable, se prevén pendientes mínimas del 1,5%, orientadas hacia los puntos de evacuación de agua de lluvia.

Asimismo, en la planta de techos se observa la disposición del tanque de reserva, parte fundamental de la instalación de agua de la vivienda.

9.2.1. TANQUE DE RESERVA

El edificio de unidades residenciales es proyectado para alojar a 6 personas en planta baja y 8 personas por cada planta superior, es decir, 38 personas en total.

Para determinar el tanque de reserva necesario, se debe plantear la dotación de agua a brindar a cada habitante por día. En el caso de la ciudad de Córdoba, se suele adoptar un valor de $250\ lts/per/día$. De este modo, el tanque de reserva deberá contar con una capacidad de:

$$Capacidad = 250 \times 38 = 9500\ litros$$

Se adopta la colocación de 4 tanques de 2750 litros, con estructura multicapa que garantiza la opacidad del interior del tanque, necesaria para evitar la fotosíntesis, microorganismos y bacterias asociadas. Contiene aditivos para evitar el envejecimiento y la exposición a la intemperie.

En el caso de los 2750 litros, las dimensiones del mismo para la marca Rotoplas son:

- Volumen nominal: 2750 litros;
- Altura: 180 cm;
- Diámetro: 150 cm;
- Material: polietileno.

9.2.2. DETALLE DE LA PLANTA

En la Figura 13 se presenta la planta de techos del edificio proyectado. En la misma se pueden observar las pendientes de la cubierta y la ubicación del tanque de reserva.

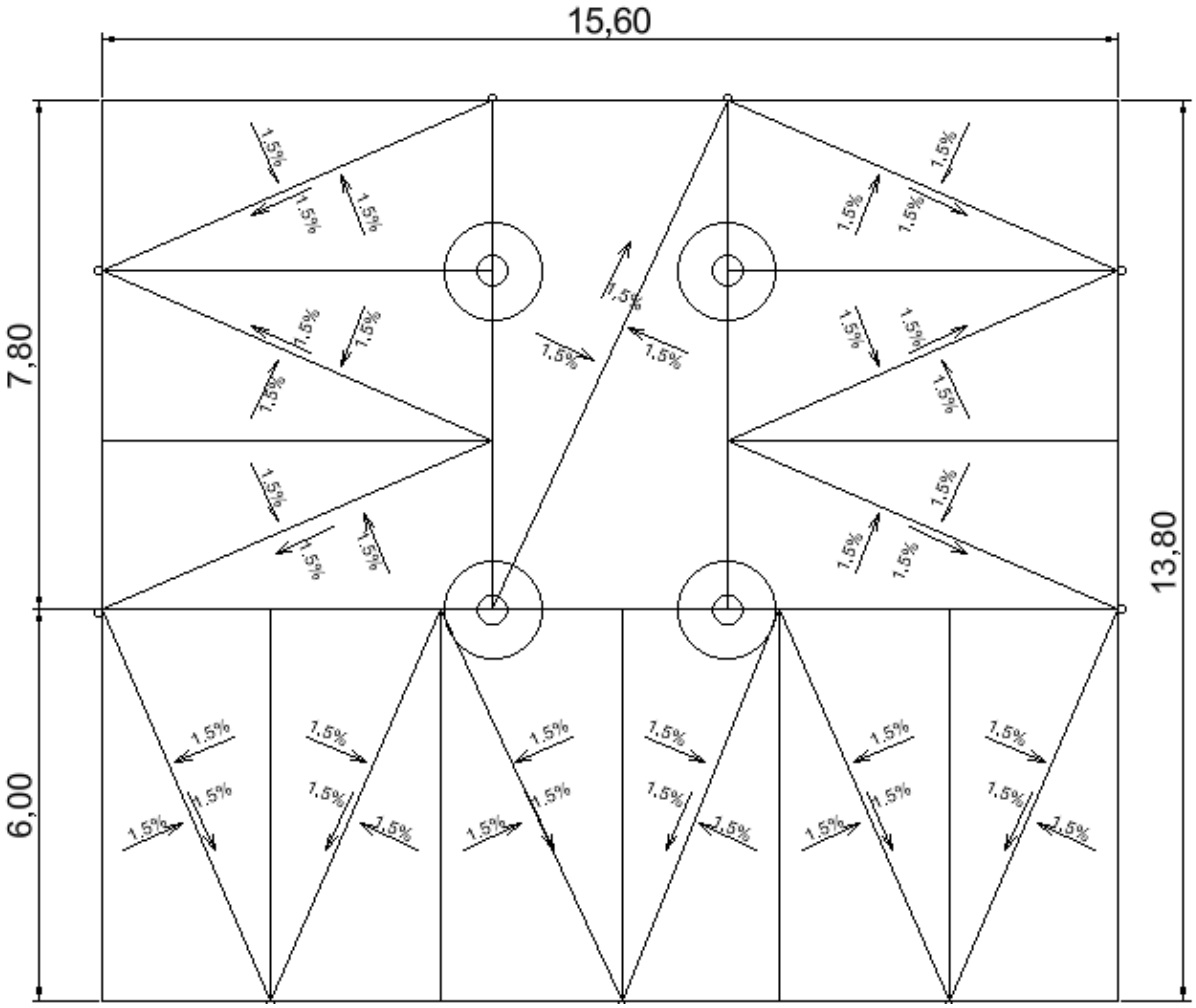


Figura 13. Planta de techos del edificio proyectado.

9.3. PLANTA DE ESTRUCTURA

En la planta estructural de la Figura 14 se pueden observar los elementos portantes de cada módulo, encargados de dar rigidez a la vivienda y resistir las solicitaciones que se presenten. Cada módulo está conformado por cuatro columnas, cuatro vigas superiores y cuatro vigas inferiores, cuyas secciones se detallan en el apartado de cálculo estructural.

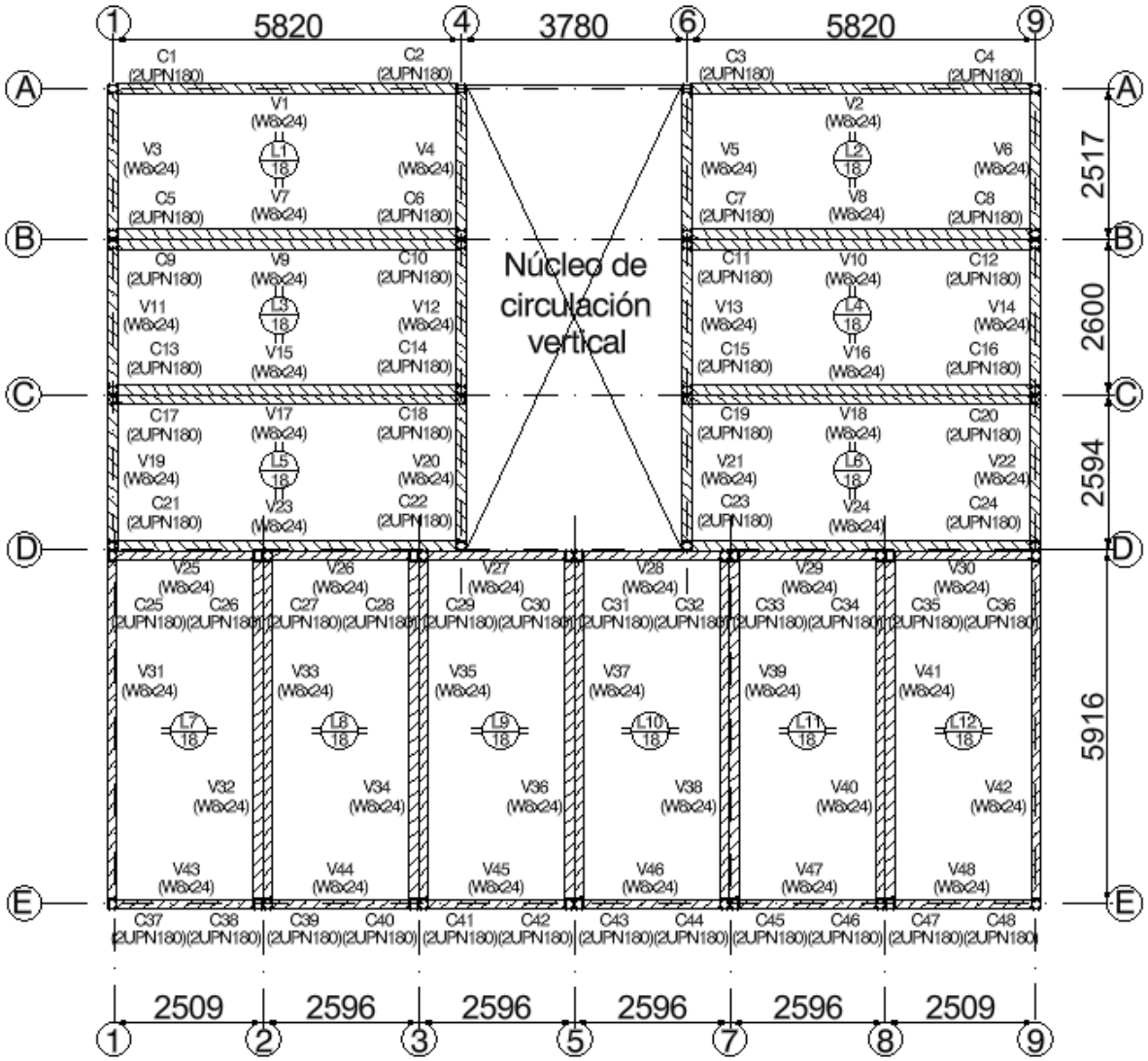


Figura 14. Planta de estructura del edificio proyectado.

9.4. FACHADA

La fachada corresponde a la cara frontal del edificio. La misma se presenta en la Figura 15.

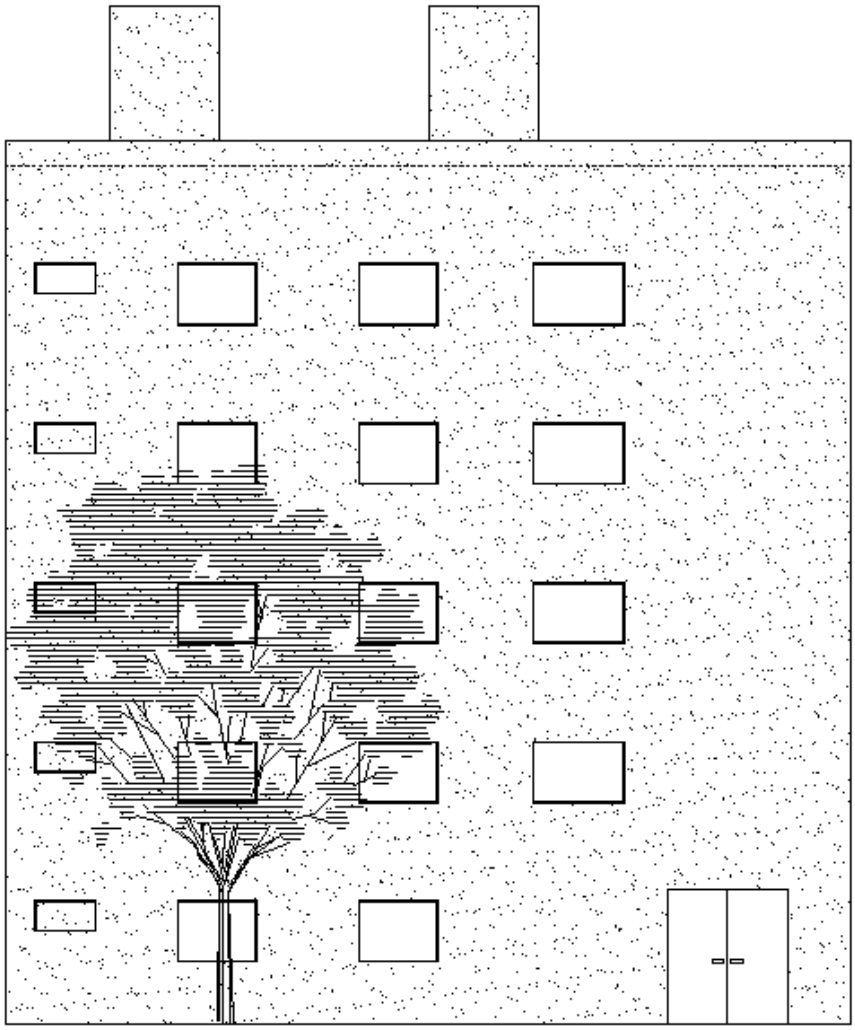


Figura 15. Fachada frontal del edificio proyectado.

10. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE LOS MÓDULOS HABITACIONALES

10.1. ACCIONES Y COMBINACIONES DE ACCIONES

10.1.1. ACCIONES

Los tipos de acciones a considerar son los siguientes:

- Acciones permanentes: Son las que tienen pequeñas e infrecuentes variaciones, durante la vida útil de la construcción, con tiempos de aplicación prolongados, tales como las debidas a:
  - Peso propio de la estructura (D).
  - Peso propio de todo elemento de la construcción previsto con carácter permanente (D).
  - Fuerzas resultantes del impedimento de cambios dimensionales debidos a variaciones térmicas climáticas o funcionales de tipo normativo, contracción de fraguado, fluencia lenta o efectos similares (T).
  - Fuerzas resultantes del proceso de soldadura (T).
  - Acciones de líquidos en general en caso de presencia continuada y con presiones y máxima altura bien definidas (F).
  - Asentamientos de apoyo (T).
  - Pesos de maquinarias adheridas o fijas a la estructura, de valor definido (D).
- Acciones variables: Son las que tienen elevada probabilidad de actuación, variaciones frecuentes y continuas no despreciables en relación a su valor medio, tales como las debidas a:
  - La ocupación y el uso en pisos, denominadas cargas útiles y sobrecargas (L).
  - Montaje en pisos (L).
  - Cargas útiles en techo (L_r).
  - Sobrecarga suspendida en techos (L).
  - Mantenimiento de cubiertas (L_r).
  - Montaje en techos (L_r).
  - Acción del viento (W).
  - Acción de la nieve y el hielo (S).

- Acciones térmicas generadas por equipamientos o funcional, no derivadas de especificaciones normativas (L).
- Acciones de líquidos en general (L).
- Acciones de granos y materiales sueltos (L).
- Acciones de maquinarias, equipos, cargas móviles como puentes grúas y monorrieles, incluyendo el efecto dinámico cuando el mismo sea significativo, y efecto dinámico del peso de maquinarias consideradas como carga permanente (L).
- Peso y empuje lateral del suelo y del agua en el suelo (H).
- Acción debida al agua de lluvia o al hielo sin considerar los efectos producidos por la acumulación de agua (R).

- Acciones accidentales: Son las que tienen pequeña probabilidad de actuación, pero con valor significativo, durante la vida útil de la construcción, cuya intensidad puede llegar a ser muy importante para algunas estructuras, tales como las debidas a:
  - Sismos de ocurrencia excepcional (E).
  - Tornados.
  - Impacto de vehículos terrestres o aéreos.
  - Explosiones.
  - Movimientos de suelos.
  - Avalanchas de nieve o piedras.

  Estas acciones sólo se tendrán en cuenta cuando las fuerzas resultantes, no sean ni despreciables, ni tan importantes como para que no sea razonable proyectar estructuras que las soporten.

10.1.2. COMBINACIONES DE ACCIONES PARA LOS ESTADOS LÍMITES ÚLTIMOS

La resistencia requerida de la estructura y de sus distintos elementos estructurales se determinará desde la combinación de acciones mayoradas más desfavorable (combinación crítica). Se tendrá en cuenta que muchas veces la mayor resistencia requerida resulta de una combinación en que una o más acciones no están actuando.

Deberán analizarse como mínimo, las siguientes combinaciones de acciones para los estados límite últimos, con sus correspondientes factores de carga:

- $1{,}4(D + F)$
- $1{,}2(D + F + T) + 1{,}6(L + H) + (f_1 L_r \text{ ó } 0{,}5S \text{ ó } 0{,}5R)$

- $1{,}2D + 1{,}6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (f_1 L \text{ ó } 0{,}8W)$
- $1{,}2D + 1{,}5W + f_1 L + (f_1 L_r \text{ ó } S \text{ ó } 0{,}5R)$
- $1{,}2D + 1{,}0E + f_1(L + L_r) + f_2 S$
- $0{,}9D + (1{,}5W \text{ ó } 1{,}0E) + 1{,}6H$

Siendo:

- f1 = 1,0 para áreas con concentración de público, áreas donde la sobrecarga sea mayor a 5,0 kN/m^2, garajes o playas de estacionamiento, cargas de puentes grúas y monorrieles y otras cargas concentradas mayores a 50 kN.
- f1 = 0,5 para otras sobrecargas.
- f2 = 0,7 para configuraciones particulares de techos (tales como las de diente de sierra) que no permiten evacuar la nieve acumulada.
- f2 = 0,2 para otras configuraciones de techo.

10.1.3. COMBINACIONES DE ACCIONES PARA LOS ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO

Los estados límite de servicio se verificarán con las siguientes combinaciones de acciones:

- $(D + F) + (\sum L_i \text{ ó } W \text{ ó } T)$
- $(D + F) + 0.7(\sum L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\sum L_i + T)$
- $(D + F) + 0.6 \sum L_i + 0.6W + 0.6T$

Siendo $\sum L_i = [L + H + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)]$

10.2. BASES DE PROYECTO

La estructura será proyectada conforme al Método de los Estados Límite, también conocido como Método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD), el cual contempla la verificación de la seguridad estructural frente a estados límite últimos y de servicio.

Para el desarrollo del presente proyecto se adoptarán como base teórica y criterios de diseño los lineamientos establecidos en la bibliografía “Estructuras Metálicas: Proyecto por Estados Límites. Octava Edición. Ing. Gabriel Troglia”.

10.2.1. ESTADOS LÍMITES

El método por estados límite es un método de proyecto y dimensionamiento de estructuras en el cual la condición de Proyecto es que ningún estado límite sea superado cuando la estructura es sometida a todas las apropiadas combinaciones de acciones determinadas en el inciso anterior.

Un estado límite es aquél más allá del cual la estructura, o una parte de ella, no logra satisfacer los comportamientos requeridos por el proyecto.

Los estados límite se clasifican en:

- Estados límite últimos.
- Estados límite de servicio.

Los estados límite últimos son establecidos para dar seguridad y definir una capacidad máxima de transferencia de carga.

Los estados límite de servicio se establecen a fin de que la estructura presente un comportamiento normal y aceptable bajo condiciones de servicio.

10.2.1.1. DIMENSIONAMIENTO PARA ESTADOS LÍMITE ÚLTIMO. PROYECTO POR RESISTENCIA

En el proyecto por resistencia se deberá cumplir que la resistencia de diseño (R_d) de cada elemento estructural, de sus uniones, o de la estructura en su conjunto, sea igual o mayor que la resistencia requerida (R_u).

$$R_u \leq R_d = \phi \times R_n$$

La resistencia requerida (R_u) de los elementos estructurales y de sus uniones deberá ser determinada por análisis estructural para la combinación crítica de acciones mayoradas.

La resistencia de diseño ($R_d = \phi \times R_n$), para cada estado límite último aplicable, es igual al producto de la resistencia nominal R_n por el factor de resistencia ϕ.

Las resistencias nominales R_n y los factores de resistencia ϕ, serán determinados según el tipo de solicitación.

10.3. MODELADO ESTRUCTURAL EN RAM ELEMENTS

Con el fin de obtener las solicitaciones correspondientes a la condición más desfavorable de los módulos y, a partir de ellas, realizar el dimensionamiento de los elementos estructurales y sus uniones, se desarrollaron modelos numéricos mediante el software RAM Elements.

Debido a que el estado tensional de los módulos varía según la etapa considerada, fue necesario modelar los módulos en las distintas condiciones de uso. En consecuencia, se analizaron las condiciones correspondientes al edificio y la vivienda, identificando en cada caso las acciones actuantes y las solicitaciones resultantes.

Considerando que la cubierta, los entrepisos y los muros requieren un espesor mínimo de 18 cm para alojar la totalidad de sus capas constitutivas, se adoptaron perfiles W8×24 para las vigas superiores, cuyas dimensiones permiten su incorporación dentro del espesor previsto para los cerramientos.

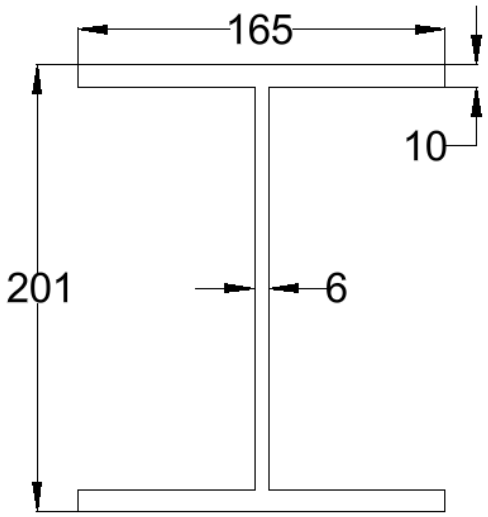


Figura 16. Sección transversal de las vigas del cordón superior, W8×24.

Para las columnas se adoptó una sección tipo cajón conformada por dos perfiles UPN 180 enfrentados. Esta configuración permite obtener un comportamiento estructural más equilibrado respecto de sus dos ejes principales, al reducir la diferencia entre los momentos de inercia asociados a cada uno de ellos. De esta manera, se mejora la rigidez de la sección en la dirección menos favorable y, consecuentemente, su comportamiento frente a fenómenos de pandeo. Asimismo, las dimensiones de la sección resultante son compatibles con el espesor previsto para los muros de Steel Framing, permitiendo integrar los elementos estructurales dentro del sistema de cerramiento.

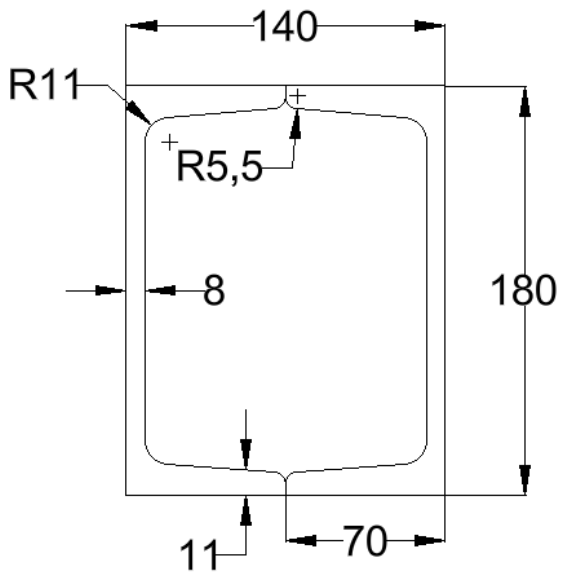


Figura 17. Sección transversal de las columnas, 2UPN180.

A su vez, el sistema incluye un cordón de vigas inferiores, dispuesto con el objetivo de aportar mayor rigidez al conjunto. Debido a que estos elementos presentan solicitaciones reducidas y, a diferencia de las vigas superiores, no deben alojar elementos correspondientes a los entrepisos, muros o cerramientos, se adoptó para ellos una sección W4×13, correspondiente a la sección de menor tamaño de la serie W considerada. Asimismo, dado que las solicitaciones actuantes sobre las vigas inferiores son menores que las correspondientes a las vigas del cordón superior, se adopta para su vinculación el mismo criterio de diseño de las uniones empleado para estas últimas, quedando dichas uniones verificadas para las condiciones de solicitación de las vigas inferiores.

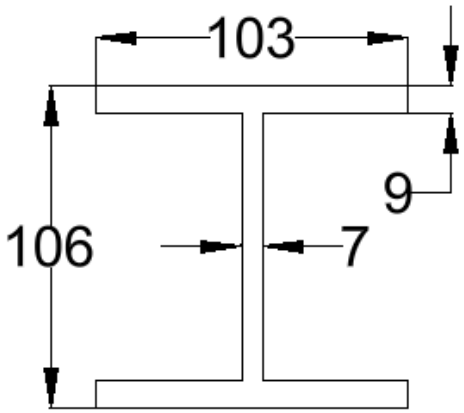


Figura 18. Sección transversal de las vigas del cordón inferior, W4×13.

Para la totalidad de los perfiles que conforman la estructura resistente de los módulos se adoptó acero estructural ASTM A36. En el modelo desarrollado en RAM Elements se consideraron las siguientes propiedades mecánicas del material:

- Módulo de elasticidad $E = 200.000\ (MPa)$
- Coeficiente de Poisson $\mu = 0{,}26$
- Peso específico aproximado $\gamma = 77\ \left(\frac{kN}{m^3}\right)$
- Tensión de fluencia $F_y = 250\ (MPa)$
- Tensión última a tracción $F_u = 360\ (MPa)$

10.3.1. GENERACIÓN DEL MODELO

En primer lugar, para el edificio se definieron dos modelos estructurales independientes, de acuerdo con la configuración de las distintas torres que lo conforman. El primero corresponde a la torre constituida por los módulos destinados a los departamentos de dos dormitorios, mientras que el segundo representa las torres conformadas por los módulos correspondientes a los departamentos de un dormitorio. Dado que estas últimas presentan la

misma configuración geométrica y estructural, se desarrolló un único modelo representativo para ambas.

En la Figura 19 se presenta la planta de estructura del edifico, en donde se observan de color azul la torre 1 y de color rojo las torres 2 y 3.

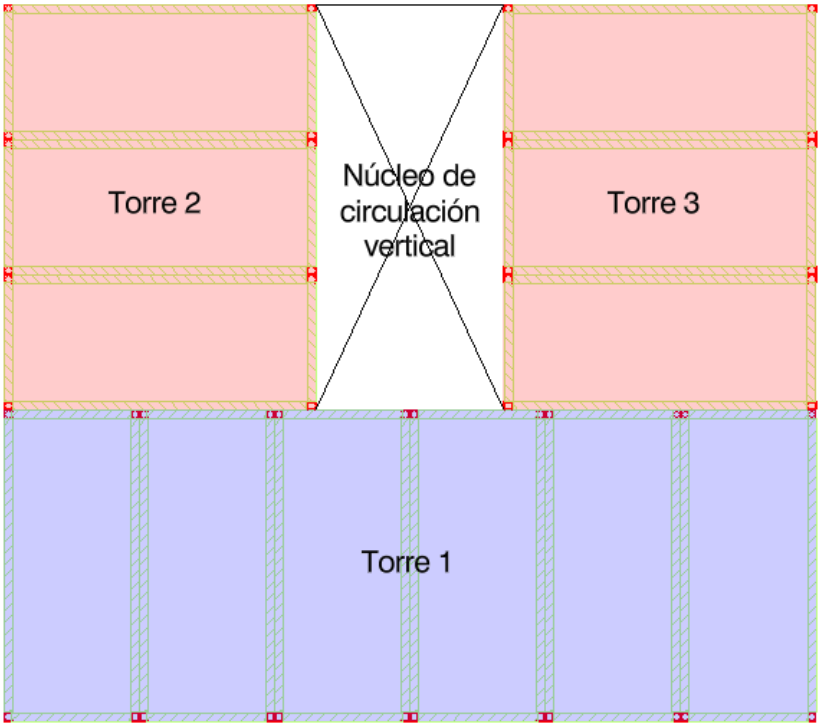


Figura 19. Disposición de las torres en la planta de estructura del edificio.

La modelación independiente de las torres responde al criterio adoptado para su comportamiento estructural, ya que cada una trabajará de manera independiente respecto de las restantes. Para materializar esta separación en la construcción, se prevé la ejecución de juntas de dilatación entre las distintas torres, evitando su vinculación estructural.

Para cada modelo, se definieron inicialmente los nudos correspondientes a la planta baja y se vincularon mediante miembros estructurales, conformando los distintos módulos en planta. Posteriormente, estos fueron replicados en dirección vertical hasta completar la totalidad de los niveles correspondientes a cada torre.

Se definieron los diafragmas rígidos de cada nivel, seleccionando los nudos y miembros que conforman cada piso, con el objetivo de representar adecuadamente el comportamiento conjunto de los elementos estructurales frente a las acciones horizontales.

En cuanto a la vivienda, el modelo se desarrolló siguiendo el mismo procedimiento general. A diferencia de lo planteado para las distintas torres del edificio, en este caso los módulos que

conforman la vivienda se encuentran vinculados estructuralmente entre sí, de manera que trabajan en conjunto como una única estructura.

La vinculación entre módulos se materializa mediante placas de unión soldadas a las caras exteriores de las columnas, permitiendo la transmisión de esfuerzos entre los módulos adyacentes. En consecuencia, la totalidad de los módulos que componen la vivienda fueron incorporados en un único modelo estructural.

En la Figura 20 se puede observar el modelo desarrollado para la torre de departamentos de dos dormitorios, en la Figura 21 el modelo para la torre de departamentos de un dormitorio y en la Figura 22 el modelo de la vivienda.

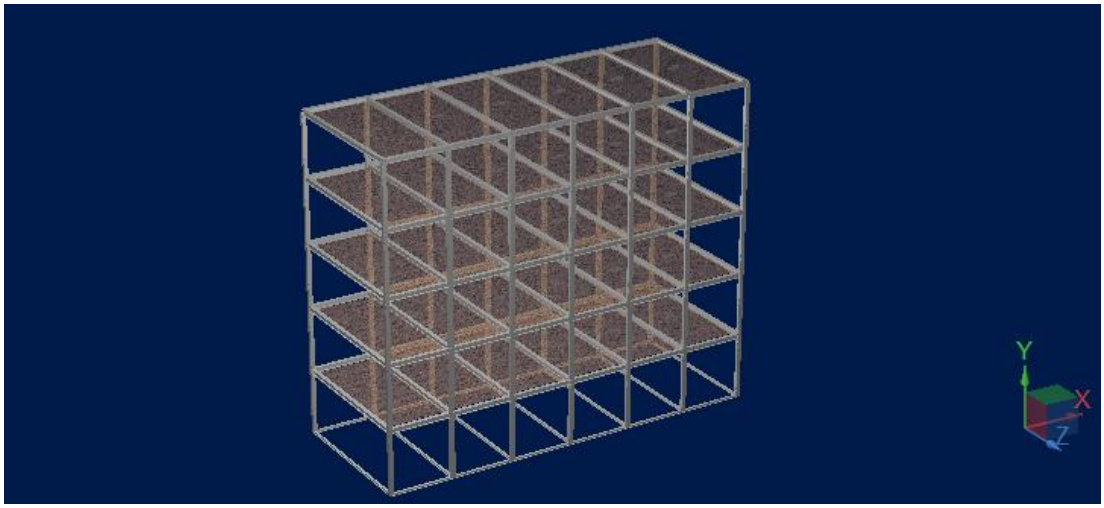


Figura 20. Modelo de la torre de departamentos de dos dormitorios, desarrollado en el software RAM Elements.

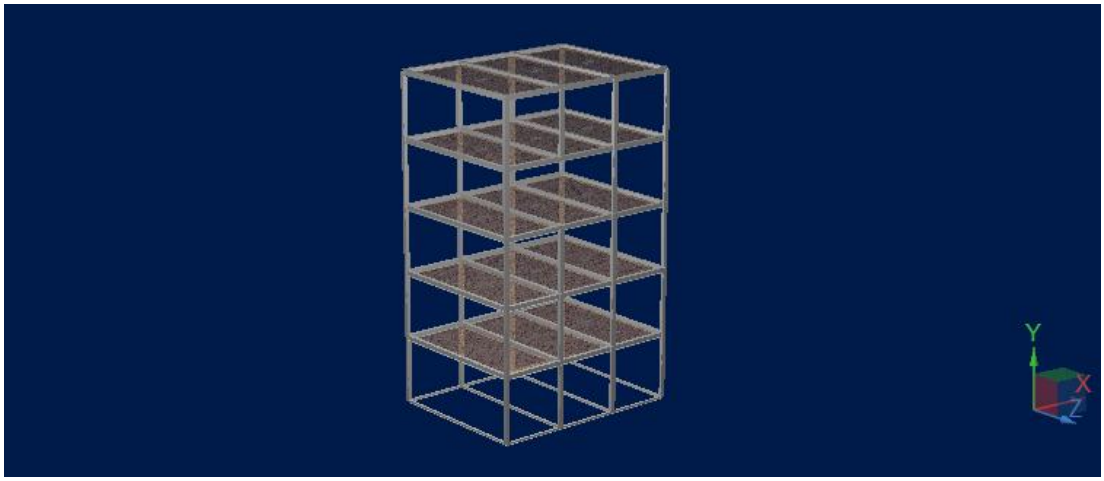


Figura 21. Modelo de la torre de departamentos de un dormitorio, desarrollado en el software RAM Elements.

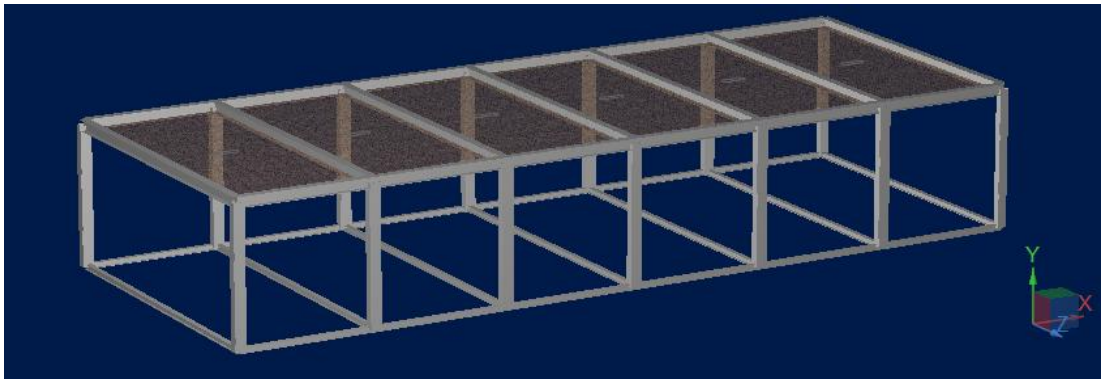


Figura 22. Modelo de la vivienda proyectada, desarrollada en el software RAM Elements.

10.3.2. SOLICITACIONES

10.3.2.1. Cargas permanentes

Una vez definida la geometría estructural, se generaron las áreas correspondientes a los entrepisos y cubiertas, estableciendo una distribución unidireccional de las cargas en la dirección Y. Sobre dichas áreas se asignaron las cargas permanentes en el estado de carga Dead Load, considerando además el peso de los tanques de almacenamiento en las losas donde correspondía. Los valores adoptados para las cargas muertas de entrepisos y cubierta fueron obtenidos del *Módulo 4 del manual Capacitación Profesional Light Steel Framing de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN)*. Dichos valores se presentan en la Tabla 7 para los módulos del último piso, es decir, los correspondientes a la cubierta, y en la Tabla 8 para los módulos de entrepiso.

Tabla 7. Cargas permanentes, módulos de cubierta.

CUBIERTA - CARGAS PERMANENTES		
Elemento	**Carga**	
Solado exterior baldosa cerámica, 12 mm de espesor.	0,28	kN/m2
Contrapiso con pendiente de hormigón pobre alivianado con perlas de polietileno expandido, más malla electrosoldada Q188, e: promedio 70 mm.	1,26	kN/m2
Film polietileno cristal, e: 200 mic.	--	--
Placas de EPS conformadas de acuerdo a la geometría de la chapa, e: 20 mm.	0,2	kN/m2
Chapa acanalada o sinusoidal A-1086 Cincalum, e: 0,8 mm.	0,2	kN/m2
Aislante térmico y acústico Acustiver R Isover, e: 70 mm.	002	kN/m2
Barrera valor, film polietileno cristal, e: 200 mic.	--	--
Estructura Dry-wall de 35, para cielorraso suspendido, más placa de roca de yeso ST, e: 12,5mm.	0,12	kN/m2
TOTAL	**2,08**	**kN/m2**

Tabla 8. Cargas permanentes para módulos de entrepiso.

ENTREPISO - CARGAS PERMANENTES		
Elemento	**Carga**	
Piso melamínico flotante, e:12 mm.	0,1	kN/m2
Membrana acústica bajo piso flotante, e: 3 mm.	--	--
Placa OSB estructural, e: 11,1 mm.	0,08	kN/m2
Aislamiento acústico a ruidos de impactos en pisos, panel PF 100 ISOVER, e: 25 mm.	0,024	kN/m2
Rigidización horizontal OSB estructural, e: 18,3 mm.	0,128	kN/m2
Aislante térmico y acústico Acusriver R Isover, e: 200 mm.	0,04	kN/m2
Estructura para cielorraso suspendido, más placa de roca de yeso ST, e: 12,5 mm.	0,12	kN/m2
TOTAL	**0,49**	**kN/m2**

10.3.2.2. Sobrecargas

Las sobrecargas de uso fueron incorporadas mediante el estado de carga Live Load. Para su determinación se realizó un análisis de las acciones variables de acuerdo con las disposiciones del Reglamento CIRSOC 101 (2005), adoptándose para cada tipo de módulo la condición más desfavorable.

De este modo, para los módulos de entrepiso se consideró una sobrecarga de $2\ kN/m^2$, ya que es lo establecido para cocina y baño de viviendas.

En cuanto a los módulos de cubierta, se determinó la sobrecarga mediante la expresión:

$$L_r = 0{,}96 \times R_1 \times R_2 \qquad \text{siendo} \qquad 0{,}58 \leq L_r \leq 0{,}96$$

Donde L_r es la sobrecarga de cubierta por metro cuadrado de proyección horizontal en kN/m^2.

Los factores de reducción R_1 y R_2 se determinan como:

- R_1:

  $R_1 = 1$ para $A_t \leq 19\ m^2$

  $R_1 = 1{,}2 - 0{,}01{,}076 \times A_t$ para $19\ m^2 < A_t < 56\ m^2$

  $R_1 = 0{,}6$ para $A_t \geq 56\ m^2$

  Donde A_t es el área tributaria en m^2 soportada por cualquier elemento estructural. En este caso, $A_t = 15{,}6\ m^2$, por lo que el primer factor de reducción resulta $R_1 = 1$.

- R_2:

  $R_2 = 1$ para $F \leq 4$

  $R_2 = 1{,}2 - 0{,}05 \times F$ para $4 < F < 12$

  $R_2 = 0{,}6$ para $F \geq 12$

Donde $F = 0{,}12 \times pendiente = 0{,}12 \times 1{,}5\% = 0{,}18$, de este modo, el segundo factor re reducción resulta $R_2 = 1$.

Al aplicar dichos factores, se obtiene que la sobrecarga de diseño para la cubierta horizontal es:

$$L_r = 0{,}96 \times R_1 \times R_2$$

$$L_r = 0{,}96 \times 1 \times 1$$

$$L_r = 0{,}96\ kN/m^2$$

10.3.2.3. Acción Sísmica

La acción sísmica para el edifico y la vivienda fue determinada de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018). Considerando la ubicación del proyecto en la provincia de Córdoba, se adoptó la Zona Sísmica 2, correspondiente a la condición más desfavorable de diseño para el emplazamiento analizado.

Para su determinación se definieron los parámetros reglamentarios necesarios para obtener los coeficientes sísmicos y construir el espectro de diseño. Posteriormente, dicho espectro fue incorporado a ambos modelos estructurales.

En la Figura 23 se presenta la zonificación sísmica adoptada.

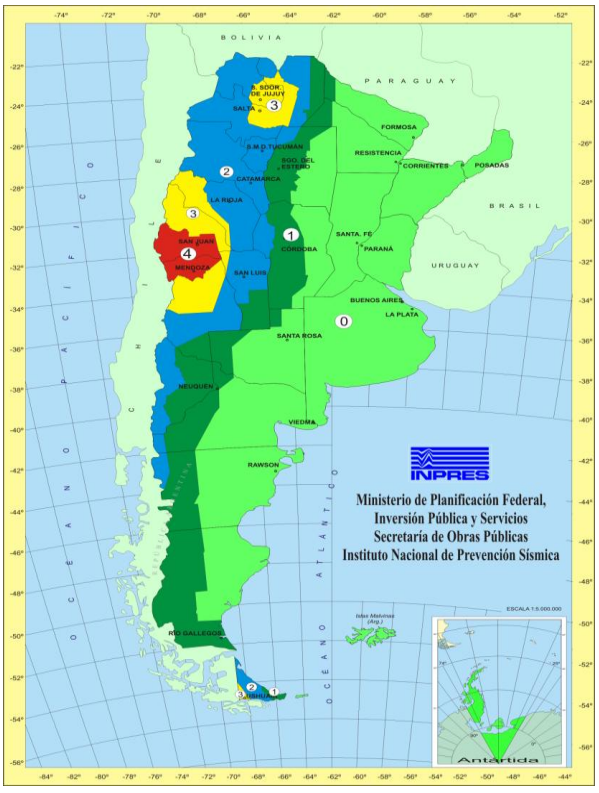


Figura 23. Zonificación sísmica según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018).

Los parámetros y expresiones utilizadas para la determinación del espectro de diseño se desarrollan a continuación.

Clasificación del suelo de emplazamiento

Debido a que el sistema modular desarrollado no posee un emplazamiento específico, no se dispone de un estudio geotécnico que permita determinar con precisión la clasificación del sitio. Por este motivo, y con el objeto de adoptar una hipótesis conservadora para el análisis sísmico, se considera un perfil de suelo tipo S_E, correspondiente a la condición de suelo más desfavorable entre las clases de sitio analizadas. De esta manera, se busca verificar el comportamiento de los módulos frente a una demanda sísmica elevada y ampliar su aplicabilidad a emplazamientos con perfiles de suelo de mayor rigidez. La clasificación definitiva deberá corroborarse mediante el estudio geotécnico correspondiente una vez establecida la ubicación del proyecto.

Tabla 9. Clasificación del sitio - influencia del suelo, según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018).

Tipo espectral	Sitio	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO		
			Velocidad media de la onda de corte, V_{sm} (m/s)	Nº de golpes medio del ensayo de penetración normalizado N_m	Resistencia media al corte no drenado S_{um} (kPa)
Tipo 1	S_A	Formación de roca dura, con presencia superficial y escasa meteorización.	>1500	-	-
	S_B	Formación de roca dura con pequeña capa de suelo denso y/o roca meteorizada <3m	760 a 1500	-	-
	S_C	Formación de roca blanda o meteorizada que No cumple con S_A y S_B. Gravas y/o arenas muy densas. Suelo cohesivo pre-consolidado, muy duro. Gravas y/o arenas de densidad media.	360 a 760	>50	>100
Tipo 2	S_D	Suelo cohesivo consistente, de baja plasticidad. Gravas y/o arenas de baja densidad.	180 a 360	15 a 50	50 a 100
Tipo 3	S_E	Suelo cohesivo blando de baja plasticidad.	<180	<15	< 50
S_F		Suelos dinámicamente inestables. Requieren estudios especiales.			

Espectro de diseño

De acuerdo con el Reglamento CIRSOC 103 – Parte I (2018), los espectros de diseño elástico para acciones horizontales se definen en función de la clasificación del sitio y para un amortiguamiento equivalente del 5%. Las ordenadas del espectro elástico de pseudoaceleración, S_a, se obtienen mediante las expresiones presentadas a continuación, en función del período de vibración de la estructura:

- $S_a = C_a \times \left(1 + 1{,}5 \times \frac{T}{T_1}\right)$ para $T \leq T_1$
- $S_a = 2{,}5 \times C_a$ para $T_1 < T \leq T_2$
- $S_a = \frac{C_v}{T}$ para $T_2 < T \leq T_3$
- $S_a = C_v \times \frac{T_3}{T^2}$ para $T > T_3$
- $f_a = \left[\frac{7}{(2+\xi)}\right]^{0{,}5}$

En donde $C_a = 0{,}30$ y $C_v = 0{,}50$ son los coeficientes de aceleración espectral y velocidad espectral respectivamente, y representan el efecto combinado de la peligrosidad sísmica de la zona y de la amplificación producida por el tipo de suelo. Ambos se definen según el emplazamiento del sitio y la zona sísmica, mediante la Tabla 10.

Tabla 10. Valores de a_s, C_a y C_v para las distintas zonas sísmicas y tipos espectrales, según Reglamento CIRSOC 103 – Parte I - 2018.

Tipo Espectral (Sitio)	Zona Sísmica							
	4		3		2		1	
	$a_s = 0{,}3$		$a_s = 0{,}2$		$a_s = 0{,}1$		$a_s = 0{,}0$	
	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v
1 (S_A, S_B, S_C)	$0{,}37N_a$	$0{,}51N_v$	$0{,}29N_a$	$0{,}39N_v$	0,18	0,25	0,09	0,13
2 (S_D)	$0{,}40N_a$	$0{,}59N_v$	$0{,}32N_a$	$0{,}47N_v$	0,22	0,32	0,12	0,18
3 (S_E)	$0{,}36N_a$	$0{,}90N_v$	$0{,}35N_a$	$0{,}74N_v$	0,30	0,50	0,19	0,26

El valor de $f_a = 1$, ya que este representa el factor de amplificación por amortiguamiento distinto al 5% y, en este caso, se considera una razón de amortiguamiento de $\xi = 5\%$.

T es el período fundamental de vibración de la estructura, siendo una propiedad de la misma.

T_1, T_2 y T_3 no son períodos de la estructura, sino que son períodos característicos del espectro de diseño. Son los límites que dividen el espectro en distintos tramos, donde la aceleración espectral se calcula con las siguientes expresiones:

- $T_3 = 5$

Tabla 11. Valor del período T_3, según Reglamento CIRSOC 103 - Parte I - 2018.

Zona sísmica	T_3 (s)
4	13
3	8
2	5
1	3

- $T_2 = \frac{C_v}{2{,}5 \times C_a} = \frac{0{,}5}{2{,}5 \times 0{,}3} = 0{,}67$
- $T_1 = 0{,}2 \times T_2 = 0{,}2 \times 0{,}67 = 0{,}13$

Luego, se determina el coeficiente sismico de diseño, que posteriormente se introduce en el software RAM Elements junto con el período. El mismo se determina en función de las siguientes expresiones:

- $C = 2{,}5 \times C_a \times \frac{\gamma_r}{R}$ para $T \leq T_2$
- $C = S_a \times \frac{\gamma_r}{R}$ para $T \geq T_2$
- $C \geq 0{,}11 \times C_a \times \gamma_r$ para zonas sísmicas 0, 1 y 2

En donde el valor del factor de reducción R se adopta igual a 3, debido a que se trata de un edificio metálico de pórtico arriostrado, según lo indicado en la Tabla 12.

Tabla 12. Factores de comportamiento, CIRSOC 103 (2018).

Mater.	Nº	Tipo Estructural	R	C_d	Ω_o
Estructuras de acero	**Pórticos No Arriostrados**				
	18	Especiales	7	5,5	3
	19	Intermedios	4,5	4	3
	20	Convencionales	3	3	3
	21	Con vigas reticuladas	6	5,5	3
	Pórticos Arriostrados				
	22	Especiales arriostrados concéntricamente	5	5,5	2
	23	Convencionales arriostrados concéntricamente	3	3	2
	24	Arriostrados excéntricamente	7	4	2
	Sistemas Duales. Pórticos **No Arriostrados Especiales** capaces de resistir al menos el 25% del corte basal, combinados con:				
	25	Pórticos especiales arriostrados concéntricamente	6	5,5	2,5
	26	Pórticos convencionales arriostrados concéntricamente	4	4	2,5
	27	Pórticos arriostrados excéntricamente	7	4	2,5
	Sistemas Duales. Pórticos **No Arriostrados Intermedios** capaces de resistir al menos el 25% del corte basal, combinados con:				
	28	Pórticos especiales arriostrados concéntricamente	5	5	2,5
	29	Pórticos convencionales arriostrados concéntricamente	3,5	3	2,5
	30	Columnas en voladizo	2,5	2,5	1,5

En la Tabla 13 se presentan los valores obtenidos para el espectro de diseño, mientras que en el Gráfico 1 se representa la variación de la pseudoaceleración en función del período de vibración de la estructura. Este espectro se incorpora al software de cálculo para la realización del análisis sísmico de los modelos estructurales.

Tabla 13. Espectro de diseño.

ESPECTRO DE DISEÑO									
T	C	T	C	T	C	T	C	T	C
0	0.3	0.725	0.69	1.45	0.345	2.175	0.23	2.9	0.172
0.025	0.384	0.75	0.667	1.475	0.339	2.2	0.227	2.925	0.171
0.05	0.469	0.775	0.645	1.5	0.333	2.225	0.225	2.95	0.169
0.075	0.553	0.8	0.625	1.525	0.328	2.25	0.222	2.975	0.168
0.1	0.638	0.825	0.606	1.55	0.323	2.275	0.22	3	0.167
0.125	0.722	0.85	0.588	1.575	0.317	2.3	0.217	3.025	0.165
0.15	0.75	0.875	0.571	1.6	0.313	2.325	0.215	3.05	0.164
0.175	0.75	0.9	0.556	1.625	0.308	2.35	0.213	3.075	0.163
0.2	0.75	0.925	0.541	1.65	0.303	2.375	0.211	3.1	0.161
0.225	0.75	0.95	0.526	1.675	0.299	2.4	0.208	3.125	0.16
0.25	0.75	0.975	0.513	1.7	0.294	2.425	0.206	3.15	0.159
0.275	0.75	1	0.5	1.725	0.29	2.45	0.204	3.175	0.157
0.3	0.75	1.025	0.488	1.75	0.286	2.475	0.202	3.2	0.156
0.325	0.75	1.05	0.476	1.775	0.282	2.5	0.2	3.225	0.155
0.35	0.75	1.075	0.465	1.8	0.278	2.525	0.198	3.25	0.154
0.375	0.75	1.1	0.455	1.825	0.274	2.55	0.196		
0.4	0.75	1.125	0.444	1.85	0.27	2.575	0.194		
0.425	0.75	1.15	0.435	1.875	0.267	2.6	0.192		
0.45	0.75	1.175	0.426	1.9	0.263	2.625	0.19		
0.475	0.75	1.2	0.417	1.925	0.26	2.65	0.189		
0.5	0.75	1.225	0.408	1.95	0.256	2.675	0.187		
0.525	0.75	1.25	0.4	1.975	0.253	2.7	0.185		
0.55	0.75	1.275	0.392	2	0.25	2.725	0.183		
0.575	0.75	1.3	0.385	2.025	0.247	2.75	0.182		
0.6	0.75	1.325	0.377	2.05	0.244	2.775	0.18		
0.625	0.75	1.35	0.37	2.075	0.241	2.8	0.179		
0.65	0.75	1.375	0.364	2.1	0.238	2.825	0.177		
0.675	0.741	1.4	0.357	2.125	0.235	2.85	0.175		
0.7	0.714	1.425	0.351	2.15	0.233	2.875	0.174		

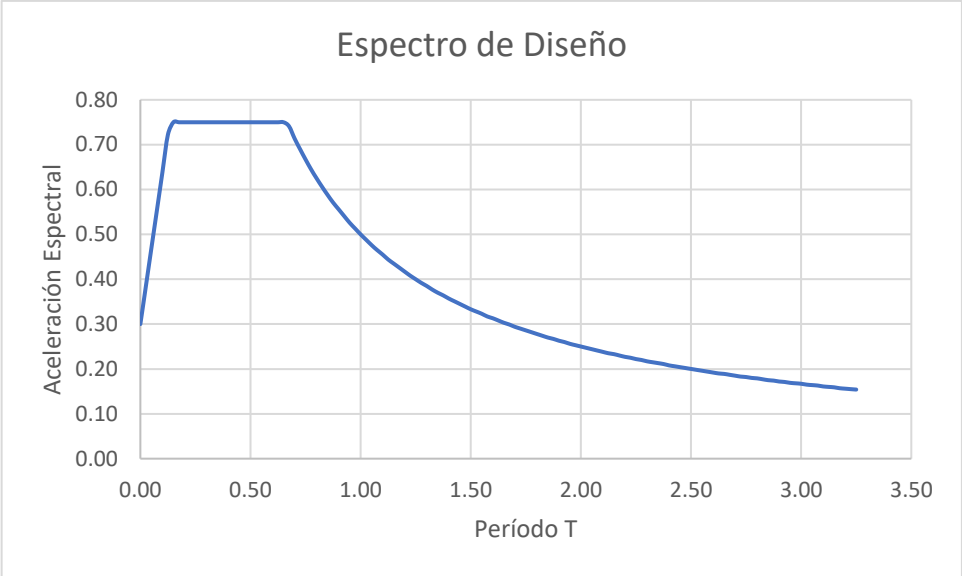


Gráfico 1. Espectro de diseño.

Las acciones sísmicas fueron consideradas en las direcciones principales X y Z de la estructura con un factor de amortiguamiento del 5%, como se mencionó anteriormente. A su vez, en las combinaciones de carga se contemplaron ambos sentidos de actuación mediante la incorporación de los efectos positivos y negativos de cada dirección, garantizando la evaluación de las condiciones más desfavorables para el diseño.

Efectos torsionales

Los efectos torsionales debidos al sismo se deben a que el centro de masa no coincide con el centro de rigidez de cada piso, por lo que aparece una excentricidad inherente que, al multiplicarse por la fuera horizontal, que es el corte basal dividido la cantidad de pisos, se genera esa torsión.

A su vez, debe verificarse la torsión accidental que surge por una excentricidad accidental debida a la irregularidad de planta. para determinar si la planta es regular o no, se deben cumplir las condiciones presentadas en la Tabla 14.

Tabla 14. Condiciones de regularidad en planta. CIRSOC 103 - Parte I (2018).

CONDICIONES		Ver Sección
1_a	Son estructuras torsionalmente regulares o con irregularidad torsional baja cuando en todos los niveles o masas se cumple: $\Delta_{bk}/\Delta_{mk} \leq 1,2$	
1_b	Son estructuras con irregularidad torsional media cuando en algún nivel o masa se cumple: $1,2 < \Delta_{bk}/\Delta_{mk} \leq 1,4$	
1_c	Son estructuras con irregularidad torsional extrema cuando en algún nivel o masa se cumple: $\Delta_{bk}/\Delta_{mk} \geq 1,4$	2.6.3- a)
2_a	Son estructuras regulares cuando los elementos resistentes para acción sísmica son continuos en altura y el esfuerzo se mantiene en un único plano vertical	
2_b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en **2_a**	2.6.3- b)
3_a	Son estructuras regulares los sistemas formados por elementos perpendiculares o con doble simetría	3.2
3_b	Son estructuras irregulares todos los casos no incluidos en **3_a**	3.2.
4a	Son estructuras regulares de esquinas entrantes cuando la proyección de la planta se extiende más allá de la esquina entrante una longitud menor al ***15%*** de las dimensiones de la planta en las direcciones de análisis	
4b	Son estructuras irregulares de esquinas entrantes todas aquéllas no incluidas en **4a**	2.6.3. e)

En donde:

- λ_{bk} es la diferencia entre desplazamientos horizontales correspondientes a la cabeza y pie del nivel k, medidos en un borde de la construcción en la dirección analizada.
- λ_{mk}: promedio de la diferencia entre desplazamientos horizontales correspondiente a cabeza y pie del nivel k, medidos en bordes opuestos de la construcción en la dirección analizada.

Debido a que, en todos los casos, se verifica que $\lambda_{bk}/\lambda_{mk} \leq 1{,}20$, el edificio posee regularidad torsional. Asimiso, se verifican las condiciones siguientes, determinando que, debido a ser una planta de elementos continuos en todos los pisos, de elementos perpendiculares con relativa simetria y en donde las esquinas entrantes poseen una longitud menor al 15% de la dimension en planta analizada, el valor de excentricidad accidental que se debe considerar es nulo.

Tabla 15. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 1 en la dirección X.

Regularidad en Planta en X – TORRE 1					
Masa	Desplazamientos (mm)		Dbk	Dmk	Dbk / Dmk
	Sup	Inf			
1	2,43	-	-	-	-
2	5,80	2,43	3,37	4,12	0,82
3	8,80	5,80	3,00	7,30	0,41
4	11,08	8,80	2,28	9,94	0,23
5	12,44	11,08	1,36	11,76	0,12

Tabla 16. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 1 en la dirección Z.

Regularidad en Planta en Z – TORRE 1					
Masa	Desplazamientos (mm)		Dbk	Dmk	Dbk / Dmk
	Sup	Inf			
1	3,98	-	-	-	-
2	9,60	3,98	5,62	6,79	0,83
3	14,61	9,60	5,01	12,11	0,41
4	18,42	14,61	3,81	16,52	0,23
5	20,69	18,42	2,27	19,56	0,12

Tabla 17. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 2 en la dirección X.

Regularidad en Planta en X – TORRE 2					
Masa	Desplazamientos (mm)		Dbk	Dmk	Dbk / Dmk
	Sup	Inf			
1	2,45	-	-	-	-
2	5,86	2,45	3,41	4,16	0,82
3	8,92	5,86	3,06	7,39	0,41
4	11,26	8,92	2,34	10,09	0,23
5	12,68	11,26	1,42	11,97	0,12

Tabla 18. Análisis de la regularidad en planta para el modelo de la torre 2 en la dirección Z.

Regularidad en Planta en Z – TORRE 2					
Masa	Desplazamientos (mm)		Dbk	Dmk	Dbk / Dmk
	Sup	Inf			
1	3,97	-	-	-	-
2	9,59	3,97	5,62	6,78	0,83
3	14,61	9,59	5,02	12,10	0,41
4	18,43	14,61	3,82	16,52	0,23
5	20,70	18,43	2,27	19,57	0,12

Tabla 19. Excentricidad accidental. CIRSOC 103 – Parte I (2018).

Irregularidad Torsional (Ver Tabla 2.3.)	***Excentricidad Accidental*** e_{ak}
Estructura torsionalmente regular o con irregularidad torsional baja	***0*** (cero)
Estructura con irregularidad torsional media	***+/– 5%*** de la longitud de la planta en el nivel ***k***, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas.
Estructura con irregularidad torsional extrema	***+/– 10%*** de la longitud de la planta en el nivel ***k*** perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas. Ver 8.3.1.1.

Distorsión angular por piso

La distorsión angular por piso permite entender cómo se distribuyen y absorben las fuerzas sísmicas a lo largo de la altura de la construcción, asegurando que cada piso soporte adecuadamente el movimiento del terreno sin comprometer la estabilidad estructural ni causar daños significativos en elementos no estructurales, como tabiques o revestimientos.

Para ello, se determinan las deformaciones en las direcciones X y Z, y se analizan mediante la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{\Delta_{sup} - \Delta_{inf}}{h} \leq 2\%$$

Donde:

- θ: es la distorsión angular por piso;
- Δ_{sup}: es la deformación del extremo superior de la columna en mm;
- Δ_{inf}: es la deformación del extremo inferior de la columna en mm;
- h: es la altura de piso analizada en mm.

De este modo, se determinó que en todos los casos se verifica de manera satisfactoria esta condición. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 20. Análisis de distorsión angular en la torre 1, en la dirección X.

Distorsión Angular en X				
Piso	**Deformación superior (mm)**	**Altura de piso (mm)**	**Distorsión angular (%)**	**Verificación (< 2%)**
1	2,43	2600	0,13	Verifica
2	5,80	2600	0,12	Verifica
3	8,80	2600	0,09	Verifica
4	11,08	2600	0,05	Verifica
5	12,44	-	-	-

Tabla 21. Análisis de la distorsión angular en la torre 1, en la dirección Z.

Distorsión Angular en Z				
Piso	**Deformación superior (mm)**	**Altura de piso (mm)**	**Distorsión angular (%)**	**Verificación (< 2%)**
1	3,98	2600	0,22	Verifica
2	9,60	2600	0,19	Verifica
3	14,61	2600	0,15	Verifica
4	18,42	2600	0,09	Verifica
5	20,69	-	-	-

Tabla 22. Análisis de la distorsión angular en la torre 2, en la dirección X.

Distorsión Angular en X				
Piso	**Deformación superior (mm)**	**Altura de piso (mm)**	**Distorsión angular (%)**	**Verificación (< 2%)**
1	2,45	2600	0,13	Verifica
2	5,86	2600	0,12	Verifica
3	8,92	2600	0,09	Verifica
4	11,26	2600	0,05	Verifica
5	12,68	-	-	-

Tabla 23. Análisis de la distorsión angular en la torre 2, en la dirección Z.

Distorsión Angular en Z				
Piso	**Deformación superior (mm)**	**Altura de piso (mm)**	**Distorsión angular (%)**	**Verificación (< 2%)**
1	3,97	2600	0,22	Verifica
2	9,59	2600	0,19	Verifica
3	14,61	2600	0,15	Verifica
4	18,43	2600	0,09	Verifica
5	20,70	-	-	-

Verificación de solicitaciones mínimas

Se debe verificar que el cote basal obtenido por el método dinámico sea menor o igual que el 85% del corte basal obtenido por el método estático. De esta forma, los valores obtenidos mediante el modelo en RAM Elements se comparan con el corte basal estático, determinado según:

$$V_{oe} = C \times W$$

Para la torre 1:

$$V_{oe} = 0{,}38 \times 380\ kN$$

$$V_{oe} = 144{,}40\ kN$$

Donde:

- $V_{oe} = 144{,}40\ kN$: es el corte basal estático;
- $C = 0{,}38$: es el coeficiente sísmico, obtenido como $C = C_n \times \gamma_r$. En este caso, $C_n = 0{,}38$ es el coeficiente sísmico normalizado y se obtiene de la Tabla 24 según la zona sísmica, mientras que $\gamma_r = 1$ es el factor de riesgo según la clasificación de la construcción, en este caso se trata de una estructura del grupo B, ya que se destina a viviendas unifamiliares o multifamiliares;

Tabla 24. Coeficiente sísmico normalizado.

Zona Sísmica	C_n
1	0,23
2	0,38
3	0,44
4	0,50

- $W = 380\ kN$ es la carga gravitatoria de la torre.

Las verificaciones correspondientes de presentan en la Tabla 25.

Tabla 25. Verificaciones de corte basal en la torre 1.

Verificación: 85% Voe < Vod		
Corte Basal - Dinámico		85 % Voe
X (kN)	Z (kN)	(kN)
138,83	145,24	122,74
Verifica	Verifica	-

Para la torre 2:

$$V_{oe} = 0{,}38 \times 190\ kN$$

$$V_{oe} = 72{,}20\ kN$$

Donde:

- $V_{oe} = 72{,}20\ kN$: es el corte basal estático;
- $C = 0{,}38$: es el coeficiente sísmico, obtenido como $C = C_n \times \gamma_r$. En este caso, $C_n = 0{,}38$ es el coeficiente sísmico normalizado y se obtiene, al igual que para la torre 1, de la Tabla 24 según la zona sísmica, mientras que $\gamma_r = 1$ es el factor de riesgo según la clasificación de la construcción, en este caso se trata de una estructura del grupo B, ya que se destina a viviendas unifamiliares o multifamiliares;
- $W = 190\ kN$ es la carga gravitatoria de la torre.

Las verificaciones correspondientes de presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Verificaciones de corte basa en la torre 2.

Verificación: 85% Voe < Vod		
Corte Basal - Dinámico		**85 % Voe**
X (kN)	**Z (kN)**	**(kN)**
84,60	61,90	61,37
Verifica	Verifica	-

10.3.2.4. Acción del viento

La determinación de las acciones de viento se realizó de acuerdo con las disposiciones del Reglamento CIRSOC 102 (2005). Para ello, se calcularon las presiones actuantes sobre las superficies de barlovento, sotavento y laterales del edificio, considerando la acción del viento en las direcciones X y Z, tanto en sentido positivo como negativo.

La categoría de exposición B corresponde a áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de viviendas unifamiliares o mayores. Debido a que el proyecto no posee un emplazamiento definitivo, se adopta esta categoría considerando un posible emplazamiento en las proximidades de la ciudad de Córdoba, por tratarse de un entorno representativo para la implantación del sistema modular propuesto.

Las dimensiones geométricas del edificio, la casa y el módulo aislado en transporte, se presentan en la Tabla 27 para la acción del viento en la dirección $\pm X$, y en la Tabla 28 para la acción del viento en la dirección $\pm Z$.

Tabla 27. Dimensiones geométricas consideradas para cada modelo. Viento en dirección ± X, paralelo a la cumbrera.

	EDIFICIO	CASA	MÓDULO
Altura	13,00 m	2,60 m	2,60 m
Ancho	16,20 m	6,00 m	2,60 m
Largo	13,80 m	15,60 m	6,00 m

Tabla 28. Dimensiones geométricas consideradas para cada modelo. Viento en dirección ± Z, perpendicular a la cumbrera.

	EDIFICIO	CASA	MÓDULO
Altura	13,00 m	2,60 m	2,60 m
Ancho	13,80 m	15,60 m	6,00 m
Largo	16,20 m	6,00 m	2,60 m

La presión dinámica q_z se determina en base a la siguiente expresión:

$$q_z = 0{,}613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I$$

En donde:

- $K_z =$: coeficiente de exposición para la presión dinámica;
- $K_{zt} = 1$: factor topográfico;
- $K_d = 0{,}85$: factor de direccionalidad del viento;
- $V = 50\frac{m}{s}$: velocidad básica del viento;
- $I = 1$: factor de importancia.

Estos parámetros fueron determinados de la siguiente manera:

Coeficiente de exposición dinámica K_z

El coeficiente de exposición dinámica considera la variación de la velocidad del viento con la altura y las características de rugosidad del terreno, representadas mediante la categoría de exposición adoptada. Este coeficiente permite determinar la presión dinámica del viento a la altura de análisis de la estructura, conforme a lo establecido por el Reglamento CIRSOC 102 (2005).

El mismo se obtiene de la Tabla 29Tabla 29. Coeficiente de exposición dinámica K_z, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005. para todos los valores de altura sobre el nivel del terreno (z) analizados, correspondientes a la categoría de exposición B. Esta categoría de exposición corresponde a áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas o terrenos con numerosas obstrucciones próximas entre sí, del tamaño de viviendas unifamiliares o mayores. Debido a que el proyecto no posee un emplazamiento definitivo, se adopta esta categoría considerando

un posible emplazamiento en las proximidades de la ciudad de Córdoba, por tratarse de un entorno representativo para la implantación del sistema modular propuesto.

Tabla 29. Coeficiente de exposición dinámica K_z, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005.

Altura sobre el nivel del terreno, z	Exposición (Nota 1)					
	A		B		C	D
(m)	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2
0 – 5	0,68	0,33	0,72	0,59	0,87	1,05
6	0,68	0,36	0,72	0,62	0,90	1,08
7,50	0,68	0,39	0,72	0,66	0,94	1,12
10	0,68	0,44	0,72	0,72	1,00	1,18
12,50	0,68	0,48	0,77	0,77	1,05	1,23
15	0,68	0,51	0,81	0,81	1,09	1,27
17,50	0,68	0,55	0,84	0,84	1,13	1,30
20	0,68	0,57	0,88	0,88	1,16	1,33
22,50	0,68	0,60	0,91	0,91	1,19	1,36
25	0,68	0,63	0,93	0,93	1,21	1,38
30	0,68	0,68	0,98	0,98	1,26	1,43
35	0,72	0,72	1,03	1,03	1,30	1,47
40	0,76	0,76	1,07	1,07	1,34	1,50
45	0,80	0,80	1,10	1,10	1,37	1,53
50	0,83	0,83	1,14	1,14	1,40	1,56
55	0,86	0,86	1,17	1,17	1,43	1,59
60	0,89	0,89	1,20	1,20	1,46	1,61
75	0,98	0,98	1,28	1,28	1,53	1,68
90	1,05	1,05	1,35	1,35	1,59	1,73
105	1,12	1,12	1,41	1,41	1,64	1,78
120	1,18	1,18	1,46	1,46	1,69	1,82
135	1,23	1,23	1,51	1,51	1,73	1,86
150	1,29	1,29	1,56	1,56	1,77	1,89

Factor topográfico K_{zt}

El factor topográfico se adopta igual a $K_{zt} = 1$, considerando que el proyecto no posee un emplazamiento definitivo y, por lo tanto, no se dispone de información específica sobre la topografía del terreno. En consecuencia, se asume que el sitio no presenta accidentes topográficos significativos que generen una amplificación de la velocidad del viento, de acuerdo con lo establecido por el CIRSOC 102 (2005), ya que se asume que la mayoría de las viviendas se desarrollan en zonas urbanas las cuales, generalmente, se desarrollan en terrenos sin accidentes topográficos. En los casos particulares que la topografía no se llana se deberá verificar la estructura.

Factor de direccionalidad del viento K_d

El factor de direccionalidad se adopta igual a $K_d = 0{,}85$, de acuerdo con los valores establecidos por el CIRSOC 102 (2005) en la Tabla 30, al corresponder el análisis al sistema principal resistente a la fuerza del viento de un edificio. Este factor tiene en cuenta que la velocidad máxima del viento no actúa simultáneamente con la misma intensidad desde todas las direcciones, reduciendo la probabilidad de que la estructura sea solicitada por el viento más desfavorable durante toda su vida útil.

Tabla 30. Factor de direccionalidad K_d.

Tipo de estructura	Factor de direccionalidad K_d *
Edificios Sistema principal resistente a la fuerza de viento Componentes y revestimientos	 0,85 0,85
Cubiertas abovedadas	0,85
Chimeneas, tanques y estructuras similares Cuadradas Hexagonales Redondas	 0,90 0,95 0,95
Carteles llenos	0,85
Carteles abiertos y estructura reticulada	0,85
Torres reticuladas Triangular, cuadrada, rectangular Toda otra sección transversal	 0,85 0,95

Velocidad básica del viento

A su vez, el procedimiento de cálculo requirió la definición de la velocidad básica del viento, correspondiente a la zona de emplazamiento. Este parámetro representa la velocidad de referencia del viento utilizada por el reglamento para determinar las presiones de diseño y depende de la ubicación geográfica de la estructura. Para la provincia de Córdoba se adopta un valor de $V = 50\ m/s$, de acuerdo con la Figura 24.

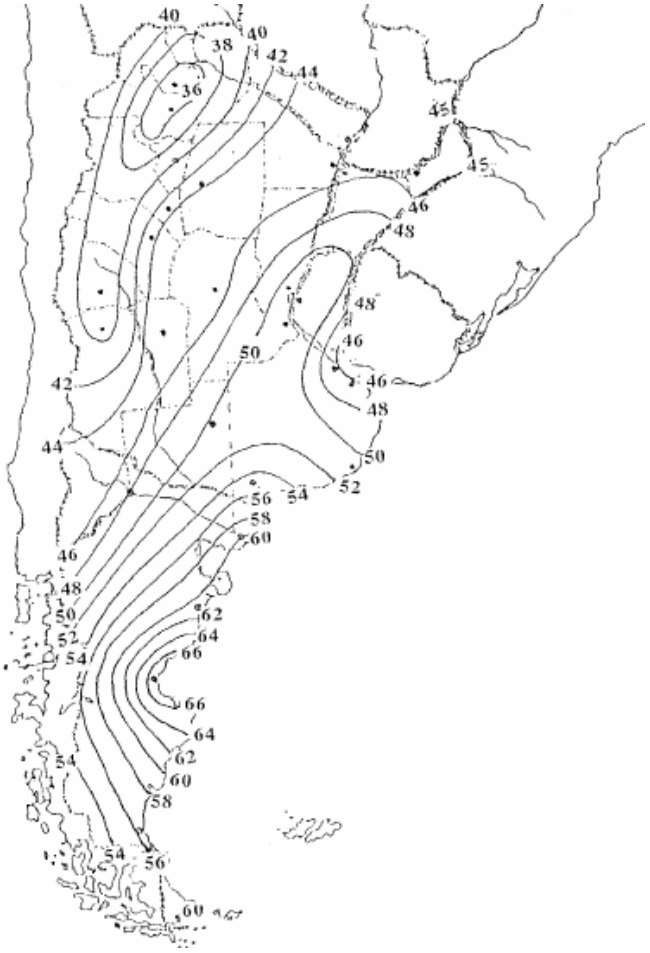


Figura 24. Velocidad básica del viento según la zona de emplazamiento, Reglamento CIRSOC 102 - 2005.

Factor de importancia

Se clasificó la estructura como Categoría II, dado que no se encuentra comprendida dentro de las categorías correspondientes a estructuras de bajo riesgo, de riesgo sustancial o esenciales. Las clasificaciones según el Reglamento CIRSOC102 (2005) se encuentran en la Tabla 31. En consecuencia, el factor de importancia es de $I = 1$, obtenido de la Tabla 32. Este factor representa la importancia relativa de la construcción frente a la acción del viento y ajusta el nivel de confiabilidad del diseño en función de las consecuencias que tendría una eventual falla estructural sobre la seguridad de las personas y los bienes.

Tabla 31. Clasificación de edificios y otras estructuras para cargas de viento, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005.

NATURALEZA DE LA OCUPACIÓN	CATEGORÍA
Edificios y otras estructuras que representan un bajo riesgo para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a: • Instalaciones Agrícolas. • Ciertas instalaciones temporarias. • Instalaciones menores para almacenamiento.	I
Todos los edificios y otras estructuras excepto aquellos listados en Categorías I, III y IV.	II
Edificios y otras estructuras que representan un peligro substancial para la vida humana en caso de falla incluyendo, pero no limitado a: • Edificios y otras estructuras donde se reúnen más de 300 personas en un área. • Edificios y otras estructuras para guarderías, escuelas primarias y secundarias con capacidad mayor que 150 personas. • Edificios y otras estructuras con instalaciones para el cuidado diurno con capacidad mayor que 150 personas. • Edificios y otras estructuras con una capacidad mayor que 500 personas para universidades o instalaciones para educación de adultos. • Instalaciones para el cuidado de la salud con una capacidad de 50 o más pacientes residentes, pero sin instalaciones para cirugía o tratamientos de emergencia. • Instalaciones para cárceles y detenciones. • Estaciones de generación de energía y otras instalaciones de utilidad pública no incluidas en la Categoría IV. Edificios y otras estructuras que contienen suficientes cantidades de substancias tóxicas o explosivas como para ser peligrosas al público si se liberan, incluyendo, pero no limitado, a: • Instalaciones petroquímicas. • Instalaciones para almacenamiento de combustibles. • Plantas de fabricación o almacenamiento de productos químicos peligrosos. • Plantas de fabricación o almacenamiento de explosivos. Edificios y otras estructuras equipadas con contención secundaria de substancias tóxicas, explosivas u otras peligrosas (incluyendo, pero no limitado a, tanques de doble pared, receptáculos de tamaño suficiente para contener un derrame u otros medios de contención de derrames o explosiones dentro de los límites de la instalación y prevenir la liberación de cantidades de contaminantes nocivas para el aire, el suelo, el agua freática o superficial) deben clasificarse como estructuras de Categoría II.	III
Edificios y otras estructuras diseñadas como instalaciones esenciales, incluyendo, pero no limitados a: • Hospitales y otras instalaciones para el cuidado de la salud que tienen instalaciones para cirugía o tratamientos de emergencia.	IV

• Cuarteles de bomberos, centros de rescate, estaciones de policía y garajes para vehículos de emergencia. • Refugios diseñados contra sismos, huracanes y otras emergencias. • Centros de comunicaciones y otras instalaciones necesarias para respuestas a emergencias. • Estaciones generadoras de energía y otras instalaciones de utilidad pública necesarias en una emergencia. • Estructuras auxiliares necesarias para la operación de aquellas de Categoría IV durante una emergencia (incluyendo, pero no limitado a torres de comunicación, tanques de almacenamiento de combustible, torres de refrigeración, estructuras de sub-estaciones de electricidad, tanques de agua para incendio u otras estructuras de alojamiento o soporte de agua, otros materiales o equipamiento para combatir el fuego. • Torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo y hangares de emergencia. • Instalaciones de almacenamiento de agua y estructuras de bombeo requeridas para mantener la presión de agua para combatir incendios. • Edificios y otras estructuras con funciones críticas de defensa nacional.	

Tabla 32. Factor de importancia según la categoría de la construcción, según Reglamento CIRSOC 102 - 2005.

Categoría	I
I	0,87
II	1,00
III	1,15
IV	1,15

Al tratarse de un edificio cuya altura es inferior a los 20 m, las presiones dinámicas se determinan según la expresión:

$$p = q_h\left[\left(G \times C_p\right) - \left(G \times C_{pi}\right)\right]$$

Donde:

- q_h: es la presión dinámica evaluada a la altura media de cubierta h;
- $(G \times C_p)$: es el coeficiente de presión externa, determinado según la Figura 25;

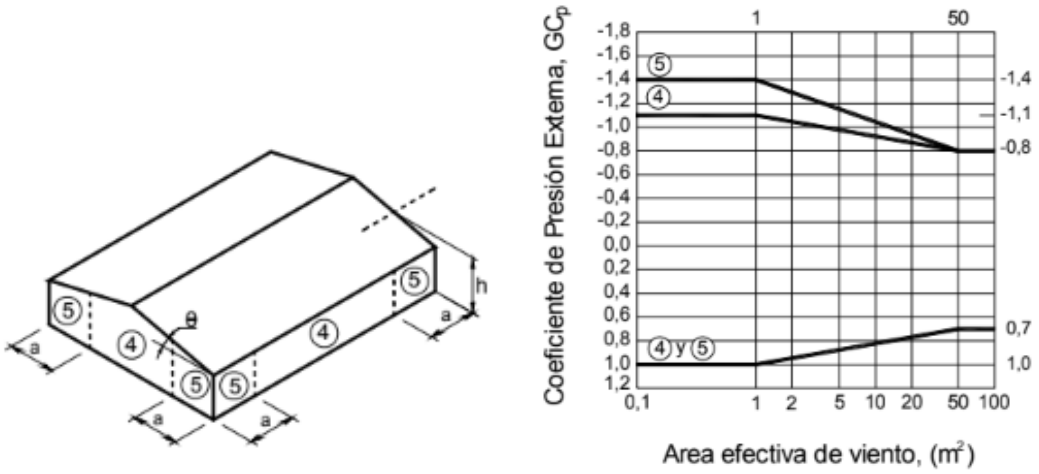


Figura 25. Coeficiente de presión externa GCp para edificios con h < 20 m.

- $(G \times C_{pi})$: es el coeficiente de presión interna, determinado según la Tabla 33.

Tabla 33. Coeficientes de presión interna GCpi.

Clasificación de cerramiento	GC_{pi}
Edificios abiertos	0,00
Edificios parcialmente cerrados	+ 0,55 - 0,55
Edificios cerrados	+ 0,18 - 0,18

De este modo, se introducen dichos parámetros en el modelo de RAM Elements, y quedan considerados los efectos del viento sobre la estructura.

En la Tabla 34 se presentan las presiones dinámicas para el modelo del edificio, en la Tabla 35 las del modelo de la vivienda y en la Tabla 36 las presiones para el modelo de transporte/montaje.

Tabla 34. Presión dinámica del viento en el edificio.

EDIFICIO PROYECTADO							
Viento en X				**Viento en Z**			
Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)		Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)	
		(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)			(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)
Barlovento	0	363,45	726,67	Barlovento	0	363,45	726,67
	3,25	363,45	726,67		3,25	363,45	726,67
	6,50	405,88	769,10		6,50	405,88	769,10
	9,75	478,04	841,26		9,75	478,04	841,26
	13,00	534,55	897,77		13,00	534,55	897,77
Sotavento	Todas	-629,21	-265,99	Sotavento	Todas	-629,21	-265,99
Laterales	Todas	-808,25	-445,03	Laterales	Todas	-808,25	-445,03

Tabla 35. Presión dinámica del viento en la vivienda.

VIVIENDA PROYECTADA							
Viento en X				**Viento en Z**			
Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)		Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)	
		(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)			(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)
Barlovento	0	418,72	695,16	Barlovento	0	421,80	698,24
	2,60	418,72	695,16		2,60	421,80	698,24
Sotavento	Todas	-326,19	-49,75	Sotavento	Todas	-278,23	-1,79
Laterales	Todas	-625,54	-349,11	Laterales	Todas	-628,24	-351,80

Tabla 36. Presión dinámica del viento en el módulo.

MÓDULO EN TRANSPORTE/MONTAJE							
Viento en X				**Viento en Z**			
Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)		Superficie	y (m)	p = Presión neta de diseño (N/m2)	
		(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)			(v/ +GCpi)	(v/ -GCpi)
Barlovento	0	421,81	698,25	Barlovento	0	341,63	565,54
	2,60	421,81	698,25		2,60	341,63	565,54
Sotavento	Todas	-337,46	-61,02	Sotavento	Todas	-273,33	-49,41
Laterales	Todas	-628,24	-351,80	Laterales	Todas	-508,85	-284,93

10.3.2.5. Consideraciones para los modelos de montaje y transporte

Montaje

Para el módulo en montaje, se modelaron en las cuatro esquinas superiores apoyos articulados, con el objetivo de simular los puntos de agarre de los mismos. De igual modo que

en los modelos del edificio y vivienda, se consideraron las cargas de viento correspondientes y la sobrecarga de ambos tipos de módulos: entrepiso y cubierta. A su vez, se consideró una carga horizontal igual al peso propio de la losa, ubicado en el centro de masa de la misma.

Transporte

Para el módulo en transporte, se consideraron las cargas de viento correspondientes y la sobrecarga asociada a ambos tipos de módulos, tanto de entrepiso como de cubierta. A su vez, se consideró una carga horizontal igual al peso propio de la losa, ubicado en el centro de masa de la misma, a fines de considerar las turbulencias ocasionadas durante el mismo.

En este caso se dispusieron apoyos articulados en los nudos inferiores de las columnas. Esta condición de vínculo se adoptó con el objetivo de representar de manera simplificada y conservadora la vinculación del módulo con el vehículo encargado de su traslado, restringiendo los desplazamientos en los puntos de apoyo sin introducir empotramientos que no se corresponden con las condiciones reales de sujeción durante el transporte

10.4. VERIFICACIÓN DEL PREDIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA PORTANTE

El predimensionado constituye una etapa fundamental dentro del proceso de diseño estructural, ya que permite definir de manera preliminar las dimensiones y características principales de los elementos resistentes que conforman la obra. A partir de criterios técnicos, normativos y constructivos, se estimaron secciones adecuadas para vigas y columnas, de modo que se garantice la correcta colocación de los cerramientos.

Esta instancia posibilita establecer una base coherente para el posterior cálculo definitivo, optimizando tiempos de proyecto y facilitando la evaluación de alternativas constructivas. Asimismo, en sistemas modulares con estructura metálica y cerramientos livianos, el predimensionado adquiere especial importancia, dado que debe contemplar no solo las cargas permanentes y variables de uso, sino también las solicitaciones derivadas del transporte, montaje y vinculación entre módulos.

En consecuencia, el presente predimensionado tiene por objeto determinar si las secciones preliminares, compatibles con el sistema estructural adoptado, aseguran la viabilidad técnica, eficiencia material y adecuada respuesta estructural del conjunto.

Lo importante de todo este proceso es tener claro que es el primer paso fundamental para realizar un buen diseño estructural, que permita cumplir con todos los requisitos y solicitaciones de proyecto, bien sea ingenieriles, estéticos, normativos y de costos; sin perder

de vista el hecho de que, luego de predimensionados los elementos se corrobore que estos verifican a los distintos estados de solicitaciones a los que está sujeto la estructura.

Cabe aclarar que los valores presentados se basan en criterios que contemplan las propiedades mecánicas de las secciones, dado que el CIRSOC 301 (2018) no establece metodologías específicas para el predimensionado.

Una vez cargado los modelos en RAM Elements, se busca la envolvente para determinar cuáles son los miembros más solicitados.

En la Figura 26Figura 27 se pueden observar los mismos en su disposición dentro de la torre 1. En color verde se identifica a los miembros 51 y 55, correspondientes a las columnas cuya condición crítica se encuentra asociada a la solicitación de compresión. Por su parte, en color amarillo se identifica el miembro 67, columna cuya condición crítica corresponde a flexión alrededor del eje fuerte (x), flexión alrededor del eje débil (z) y al corte. Finalmente, en color rojo se identifican a los miembros 87 y 91, correspondientes a las vigas.

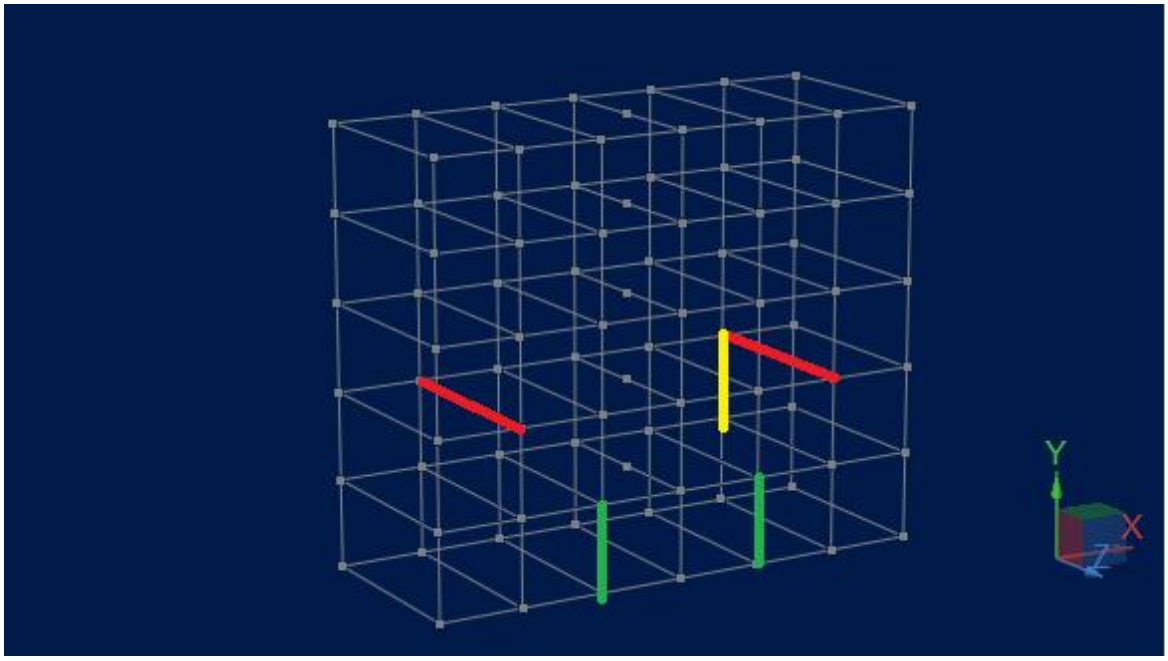


Figura 26. Miembros más solicitados del modelo de la torre 1.

En la Figura 27 se pueden observar los mismos en su disposición dentro de la torre 2. En color verde se identifican los miembros 51 y 52, correspondientes a las columnas que presentan la condición crítica de compresión. En color amarillo se observan los miembros 63 y 64, correspondientes a las columnas con mayor corte, flexión alrededor del eje fuerte (x) y flexión alrededor del eje débil (z). Por su parte, en color rojo se identifican los miembros 87 y 88, correspondientes a las vigas.

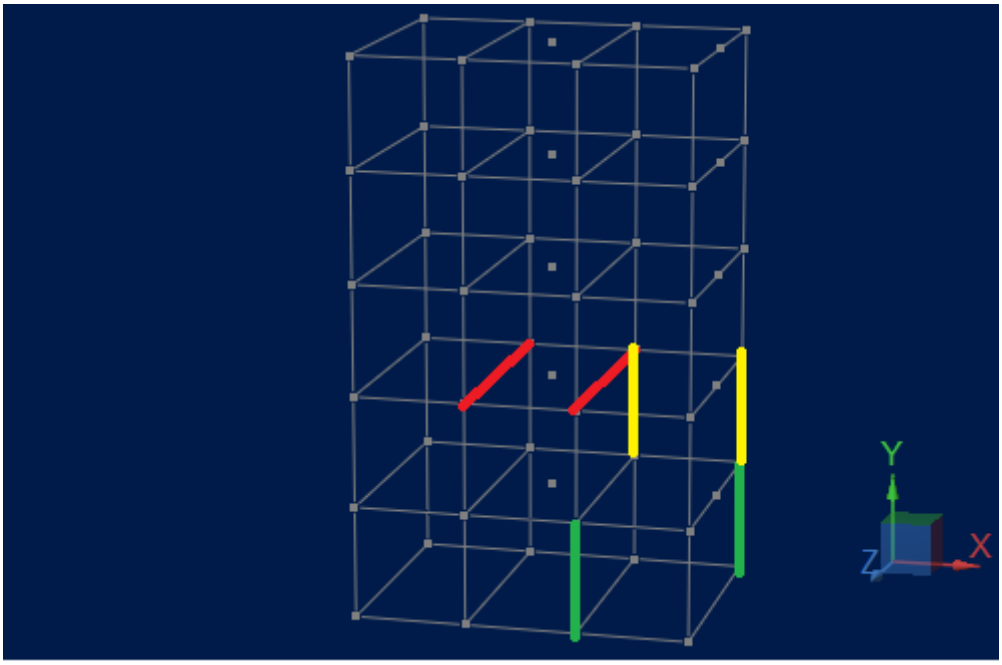


Figura 27. Miembros más solicitados del modelo de la torre 2.

En cada caso, los valores de solicitaciones son:

Tabla 37. Solicitaciones de los elementos estructurales más críticos.

Modelo	Elemento	Axial (kN)	Corte (kN)	M. flector (kNm)		Condición crítica
Torre 1	Viga 87 y 91	-	66,98	-56,92		-
	Columna 51 y 55	-300,18	13,07	-18,80 (x)	-0,47 (z)	Compresión
	Columna 67	-228,67	23,52	31,73 (x)	-14,23 (z)	Corte y flexión (X y Z)
Torre 2	Viga 87 y 88	-	66,98	-56,92		-
	Columna 51 y 52	-295,48	13,07	22,63 (x)	-13,41 (z)	Compresión, corte y flexión (Z)
	Columna 63 y 64	-228,94	23,52	31,73 (x)	-12,53 (z)	Corte y flexión (x)

Las secciones adoptadas resultan verificadas para la vivienda unifamiliar y para los módulos durante las etapas de transporte y montaje, dado que las solicitaciones obtenidas para estados últimos en dichos casos son inferiores a las consideradas para el dimensionamiento. En la Tabla 38 se presentan las máximas solicitaciones presentes en los elementos de la vivienda y en las etapas de transporte y montaje de los módulos.

Tabla 38. Solicitaciones de los elementos estructurales críticos de los modelos de la vivienda, el módulo en transporte y el módulo en montaje.

Modelo	Elemento	Axial (kN)	Corte (kN)	M. flector (kNm)		Condición crítica
Vivienda	Viga 40 y 41	-	22,71	22,10		-
	Columna 50 y 51	-22,72	10,3	17,94 (x)	-0,25 (z)	Compresión, corte y flexión (X y Z)
Transporte	Viga 27 y 28	-	12,84	9,76		-
	Columna	-2,73	4,03	-9,5 (x)	-0,47 (z)	Compresión, corte y flexión (X y Z)
Montaje	Viga 25 y 28	-	4,03	-9,50		-
	Columna 11, 12, 25 y 26	-2,73	4,03	9,49 (x)	-0,47 (z)	Compresión, corte y flexión (X y Z)

En los anexos se adjuntan los diagramas de las envolventes correspondientes a los elementos más solicitados de cada modelo, de los cuales se extrajeron dichos valores.

De esta manera, se verifican los estados limite correspondientes a cada elemento estructural, considerando los valores de la torre 1, ya que son los más exigentes.

10.4.1. VIGAS

Las vigas son elementos estructurales donde la longitud predominante es la horizontal y que por naturaleza están sometidas principalmente a esfuerzos de flexión, transmitiendo las cargas hacia las columnas.

El perfil escogido se evalúa con respecto al momento máximo a flexión, teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$\sigma = \frac{M_f}{S}$$

De la cual se despeja S para obtener:

$$S = \frac{M_f}{\sigma}$$

Dónde:

- S es el módulo resistente elástico;
- M_f es el momento máximo a flexión;
- σ es la tensión de fluencia del perfil metálico.

En el caso de las vigas del cordón superior, cuya sección adoptada fue W8×24, el momento flector obtenido del modelo es $M_f = 56{,}92\ kNm$. Considerando que el material es acero A36 con una tensión de fluencia de $\sigma = 250\ MPa$, se obtiene como requerimiento un módulo resistente elástico $S_{nec} = 227{,}68\ cm^3$. El perfil adoptado cuenta con un $S = 342\ cm^3$, por lo tanto, la sección adoptada es satisfactoria.

10.4.2. COLUMNAS

Una columna es un elemento estructural colocado de forma vertical, esbelta, donde la dimensión más grande es la altura.

Esta soporta principalmente esfuerzos de compresión y transmite las cargas hacia los cimientos de la estructura.

Se debe conocer de manera aproximada el esfuerzo normal para una relación de esbeltez efectiva, cociente entre la longitud y su radio de giro mínimo: $\lambda = \left(\frac{KL}{r}\right)$.

La relación de estos valores permite establecer un rango para el área efectiva de la sección.

$$A \geq \frac{N}{\sigma}$$

Dónde:

- A es el área de la sección transversal de la columna;
- N es el esfuerzo normal;
- σ es la tensión de fluencia del perfil metálico.

Conociendo el área necesaria, se la compara con la que tiene el perfil adoptado. La misma debe ser mayor o igual para satisfacer dicha condición.

Para un $N = 300{,}18\ kN$ y un $\sigma = 250\ MPa$, el área requerida es de $A_{nec} = 12\ cm^2$. El perfil adoptado para columnas era 2UPN180, cuya área es $A = 56\ cm^2$. De este modo, la sección de la columna también satisface la condición analizada.

En la Figura 28 se observan las secciones adoptadas para cada uno de los elementos estructurales que conforman el módulo.

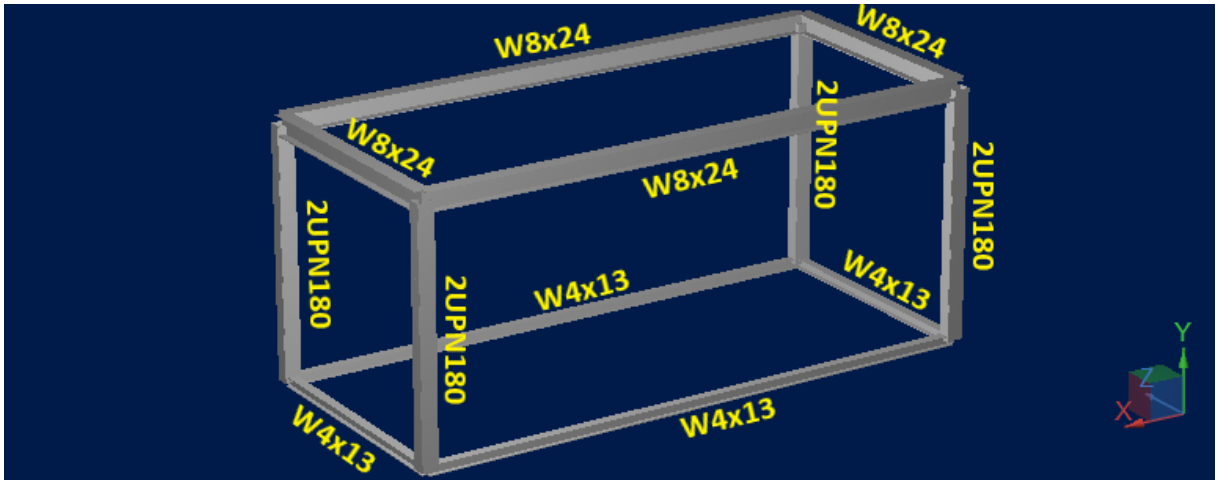


Figura 28. Secciones de los elementos estructurales del módulo habitacional M-H.

10.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Una vez determinadas las secciones de cada elemento estructural de los módulos habitacionales, se modifican en el modelo en RAM Elements y se analiza nuevamente para obtener las nuevas envolventes de los miembros más solicitados. En este caso, ambos elementos cumplieron con las condiciones de predimensionado por lo que las solicitaciones en la torre 1, presentadas anteriormente en la Tabla 37.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** son las que se tendrán en cuenta para las verificaciones de los mismos y el dimensionado de las uniones.

Dichos valores fueron extraídos de los diagramas de envolventes que brinda el software RAM Elements para cada elemento, presentados en la Figura 29 para las vigas 87 y 91, la Figura 30 para las columnas 51 y 55, y la Figura 31 para la columna 67.

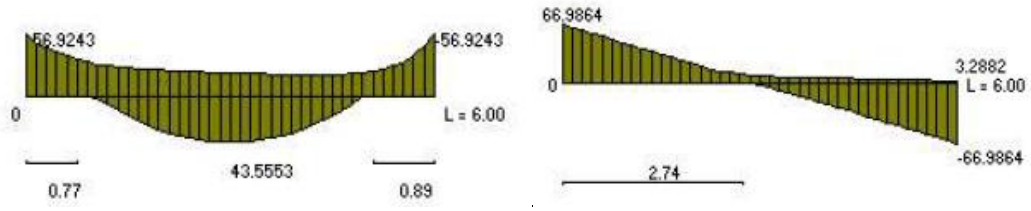


Figura 29. Envolvente del momento flector y corte, respectivamente, de las vigas 87 y 91 de la torre 1.

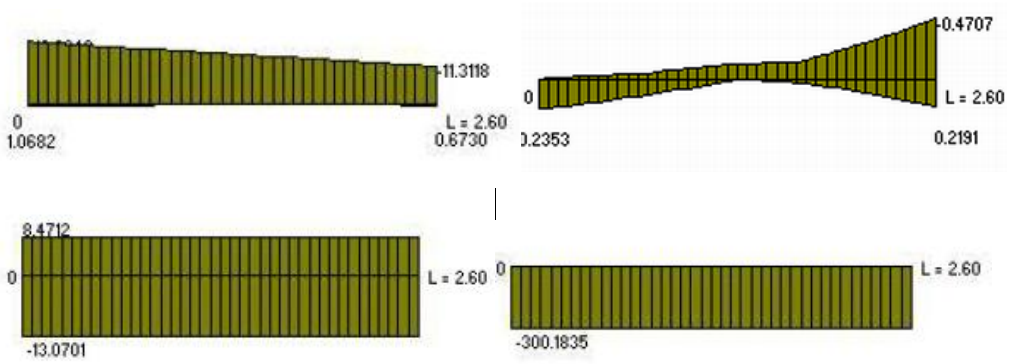


Figura 30. Envolvente del momento flector alrededor de X y Z, corte y axil, respectivamente, de las columnas 51 y 55 de la torre 1.

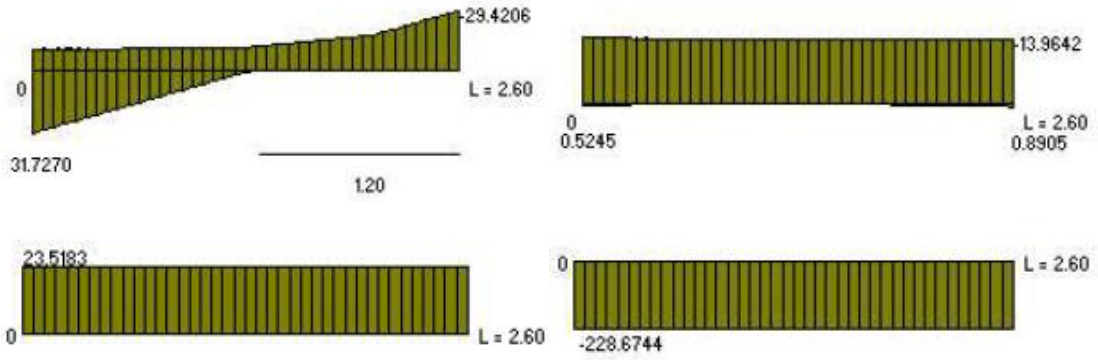


Figura 31. Envolvente del momento flector alrededor de X y Z, corte y axil, respectivamente, de la columna 67 de la torre 1.

10.6. VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITE EN VIGAS Y COLUMNAS

Una vez definidas las secciones de los elementos estructurales, se procede a verificar su capacidad resistente frente a las solicitaciones obtenidas del análisis estructural. Para ello, se consideran los estados límite últimos establecidos en el Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios CIRSOC 301 (2018), evaluando el comportamiento de vigas y columnas frente a los distintos mecanismos de falla que pueden resultar críticos para cada tipo de elemento.

10.6.1. VIGAS

Como se mencionó anteriormente, las vigas superiores están sometidas a un momento flector $M_u = 56{,}92\ kNm$ y a un esfuerzo de corte $V_u = 66{,}98\ kN$, correspondientes a la

envolvente de solicitaciones obtenida del análisis estructural la cual indica el máximo valor entre todas las combinaciones de carga. Debido a ello, es necesario verificar los miembros a los estados límites correspondientes a cada solicitación.

10.6.1.1. FLEXIÓN

En primer lugar, se determina la clasificación de la sección transversal, la cual depende de la relación ancho–espesor de los elementos que la componen. Para ello, se calculan las relaciones de esbeltez de los elementos rigidizados y no rigidizados del perfil y se comparan con los valores límite establecidos por el Reglamento CIRSOC 301 (2018).

El ala del perfil constituye un elemento no rigidizado, cuya relación de esbeltez se determina mediante:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \times t_f}$$

$$\lambda_f = \frac{165\ mm}{2 \times 10{,}2\ mm}$$

$$\lambda_f = 8{,}02$$

La esbeltez límite para elementos no rigidizados de perfiles doble T resulta:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 10{,}75$$

Dado que $\lambda_f < \lambda_p$ se concluye que las alas del perfil son compactas.

Por otra parte, el alma constituye un elemento rigidizado, cuya relación de esbeltez es:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}$$

$$\lambda_w = \frac{156\ mm}{6{,}22\ mm}$$

$$\lambda_w = 25{,}08$$

La esbeltez límite correspondiente se determina mediante:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 106{,}25$$

Al verificarse que $\lambda_w < \lambda_p$ se concluye que el alma también corresponde a un elemento compacto.

Como tanto el ala como el alma resultan compactas, la sección se clasifica como compacta. En consecuencia, los estados límite últimos de flexión que corresponde verificar son la plastificación de la sección y el pandeo lateral torsional, descartando abolladuras en alas y almas al no tratarse de elementos esbeltos.

Plastificación

La primera verificación corresponde al estado límite de plastificación de la sección. Este mecanismo de falla se produce cuando las tensiones en la sección transversal alcanzan el límite de fluencia del acero, desarrollándose progresivamente una distribución plástica de tensiones hasta alcanzar la capacidad resistente máxima de la sección.

Para determinar la resistencia nominal a flexión, se calculan el momento elástico M_y y el momento plástico M_p de la sección. El momento elástico representa el instante en que las fibras más alejadas del eje neutro alcanzan por primera vez la tensión de fluencia, mientras que el momento plástico corresponde al estado en el que toda la sección ha desarrollado su capacidad plástica.

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_x = 342\ cm^3$
- Módulo resistente plástico: $Z_x = 380\ cm^3$
- Momento elástico: $M_y = 1{,}5 \times S_x \times F_y = 1{,}5 \times 342\ cm^3 \times 250\ MPa = 128{,}25\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_x \times F_y = 380\ cm^3 \times 250\ MPa = 95\ kNm$

Al resultar $M_p < 1{,}5 \times M_y$ el momento nominal para el estado límite de plastificación es $M_{n1} = 95\ kNm$.

Pandeo lateral torsional

Además de la plastificación de la sección, se verifica el estado límite de pandeo lateral torsional. Este fenómeno puede presentarse en vigas sometidas a flexión cuando la zona comprimida del perfil no cuenta con arriostramiento lateral suficiente, produciéndose un desplazamiento lateral acompañado de una rotación de la sección.

Para evaluar este estado límite, se compara la longitud lateralmente no arriostrada de la viga L_b con las longitudes límite L_p y L_r. En función de dicha comparación se determina el

caso correspondiente y se calcula la resistencia nominal a flexión según las expresiones establecidas por el Reglamento CIRSOC 301 (2018).

En este caso, al verificarse que $L_p < L_b < L_r$, la viga se encuentra en el rango de pandeo lateral torsional inelástico. Por lo tanto, la resistencia nominal se determina interpolando entre el momento plástico M_p y el momento límite M_r, considerando además el factor de corrección del diagrama de momentos C_b.

- Longitud lateralmente no arriostrada: $L_b = 600\ cm$
- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_p = 709 \times r_y \times \frac{1}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_p = 709 \times 4{,}09\ cm \times \frac{1}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$L_p = 183{,}4\ cm$$

  En donde $r_y = 4.09\ cm$ corresponde al radio de giro de la sección en el eje de menor inercia.

- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_r = \frac{1{,}28 \times r_y \times X_1}{F_L}$$

$$L_r = \frac{1{,}28 \times 4{,}09\ cm \times 20822\ MPa}{181\ MPa}$$

$$L_r = 602{,}25\ cm$$

  En donde $X_1 = 20822\ MPa$ y $F_L = F_y - F_r = 250\ MPa - 69\ MPa = 181\ MPa$.

- Factor de corrección de diagrama de momentos: $C_b = 1$. Esta hipótesis resulta conservadora, ya que no considera el efecto beneficioso de la distribución real del momento flector sobre la resistencia al pandeo lateral torsional, conduciendo a una menor resistencia nominal y, por lo tanto, a una verificación del lado de la seguridad.
- Momento límite para pandeo torsional:

$$M_r = F_L \times S_x$$

$$M_r = 181\ MPa \times 342\ cm^3$$

$$M_r = 61{,}9\ kNm$$

Como se mencionó, para obtener el momento nominal por pandeo lateral torsional se debe interpolar entre el momento plástico y el momento límite:

$$M_{n2} = C_b \left[M_p - \left(M_p - M_r\right) \times \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right]$$

$$M_{n2} = 1 \times \left[95\ kNm - (95\ kNm - 61{,}9\ kNm) \times \frac{600\ cm - 183{,}4\ cm}{602{,}25\ cm - 183{,}4\ cm}\right]$$

$$M_{n2} = 62{,}07\ kNm$$

Resistencia de diseño

Finalmente, la resistencia nominal para la verificación a flexión viene dada por:

$$R_n = \min(M_{n1}; M_{n2})$$

$$R_n = \min(95\ kNm; 62{,}07\ kNm)$$

$$R_n = M_{n2}$$

$$R_n = 62{,}07\ kNm$$

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene finalmente la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}90 \times 62{,}07\ kNm$$

$$R_d = 55{,}87\ kNm$$

Comparando el valor de la resistencia de diseño con el momento solicitante:

$$R_d = 55{,}87\ kNm \cong M_u = 56{,}92\ kNm$$

De este modo, la sección W8×24 la sección de la viga queda verificada a flexión.

10.6.1.2. CORTE

A continuación, se verifica la resistencia de la viga frente a los esfuerzos cortantes. En primer lugar, se evalúa la esbeltez del alma para determinar si existe riesgo de abolladura por corte y establecer el coeficiente de corte correspondiente.

$$\lambda_w = 25{,}08$$

$$\left(492 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_y}}\right) = \left(492 \times \sqrt{\frac{5}{250\ MPa}}\right) = 69{,}58$$

$$\lambda_w < 69{,}58$$

Donde $k_v = 5$ para almas sin rigidizadores.

Al verificarse que la esbeltez del alma se encuentra por debajo del valor límite reglamentario, no se produce la reducción de la resistencia por inestabilidad local, por lo que se adopta un coeficiente de corte $C_v = 1$. En consecuencia, la resistencia nominal a corte se determina mediante la expresión correspondiente para almas no susceptibles al pandeo por corte.

$$V_n = 0{,}6 \times F_y \times A_w \times C_v$$

$$V_n = 0{,}60 \times 250\ MPa \times 9{,}7\ cm^2 \times 1$$

$$V_n = 145{,}54\ kN$$

Donde:

- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del perfil;
- $A_w = 9{,}7\ cm^2$: área del alma del perfil.

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times V_n$$

$$R_d = 0{,}90 \times 145{,}54\ kN$$

$$R_d = 130{,}99\ kN$$

Finalmente, el corte en el perfil de la viga W8×24 queda verificado al cumplirse que:

$$R_d = 130{,}99\ kN > V_u = 66{,}98\ kN$$

10.6.2. COLUMNAS – CONDICIÓN CRÍTICA CORTE Y FLEXIÓN (X y Z)

Como se mencionó anteriormente, la columna 67 del modelo de la torre 1 cuenta con la condición crítica de corte, flexión alrededor del eje fuerte (x) y flexión alrededor del eje débil (z).

Las columnas constituyen elementos sometidos predominantemente a esfuerzos de compresión. En este tipo de miembros, la capacidad resistente se encuentra condicionada no solo por la resistencia del material y las propiedades geométricas de la sección, sino también por la estabilidad global del elemento.

La columna más solicitada se encuentra sometida a un esfuerzo axil de compresión, flexión y corte. Es decir, que se debe verificar a la misma a:

- Flexo-compresión: considerando el pandeo y la flexión propia de la columna de manera independiente, para luego realizar la verificación de la interacción entre ambas solicitaciones;
- Esfuerzo cortante.

Para la flexo-compresión, se deben conocer en primera instancia los valores de:

- P_n: compresión nominal de la columna, determinada según el Capítulo 4 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición)* para la mayor esbeltez efectiva $\lambda = \frac{k \times L}{r}$.
- $P_u = -228{,}67\ kN$: compresión última que recibe la columna, obtenida la envolvente de combinaciones últimas;
- M_{nx}: resistencia nominal a flexión alrededor de X del miembro determinada según el Capítulo 7 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición);*

- $M_{ux} = 31{,}37\ kNm$: momento flector alrededor de X requerido de la columna, obtenido de la envolvente de combinaciones últimas;
- M_{nz}: resistencia nominal a flexión alrededor de Z del miembro determinada según el Capítulo 7 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición);*
- $M_{uz} = -14{,}23\ kNm$: momento flector alrededor de Z requerido de la columna, obtenido de la envolvente de combinaciones últimas;
- $\phi_c = 0{,}85$: factor de resistencia para la compresión;
- $\phi_b = 0{,}90$: factor de resistencia para la flexión.

10.6.2.1. Verificación a pandeo y obtención de P_n

La determinación de P_n se realiza con la siguiente expresión:

$$P_n = F_{cri} \times A_g$$

Pero, para poder calcularla, se debe determinar antes cuál es la mayor esbeltez efectiva $\lambda = \frac{k \times L}{r}$.

Donde k es el factor de longitud efectiva. Un método para determinarlo es el uso de los nomogramas de la Figura 32.

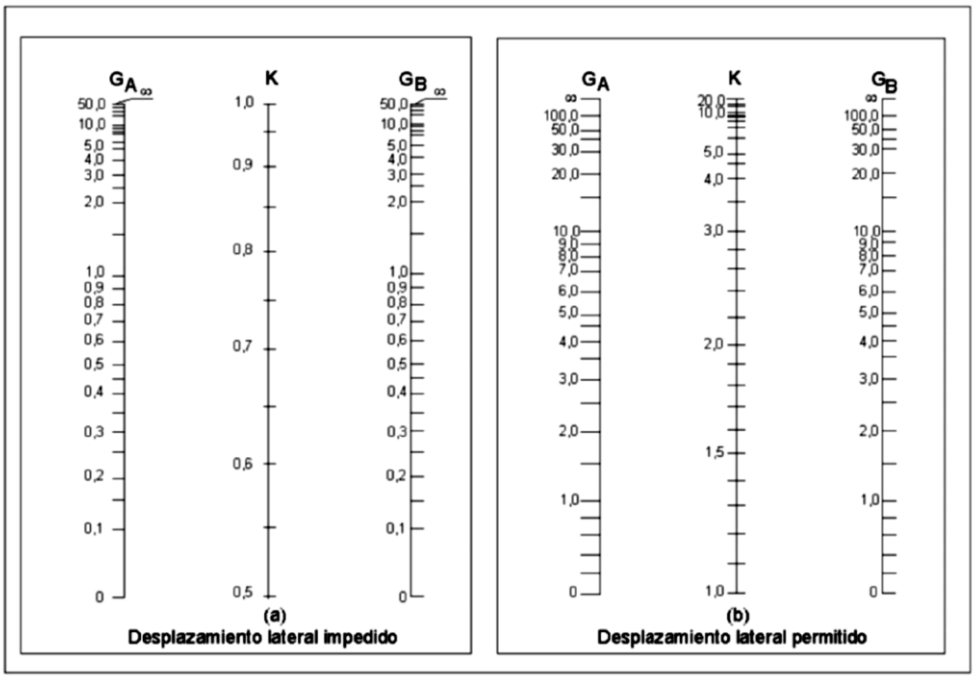


Figura 32. Nomogramas para la determinación del factor de longitud efectiva k.

En este caso, corresponde utilizar el nomograma para pórticos indesplazables, dado que la deformada obtenida para la combinación de carga que genera la condición crítica, presentada en la Figura 33, resulta compatible con el esquema propuesto por *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición)*, correspondiente a la Figura 34. Esto se debe a que los nudos superiores del pórtico no presentan un desplazamiento lateral significativo, por lo que el sistema puede considerarse de nudos indesplazables.

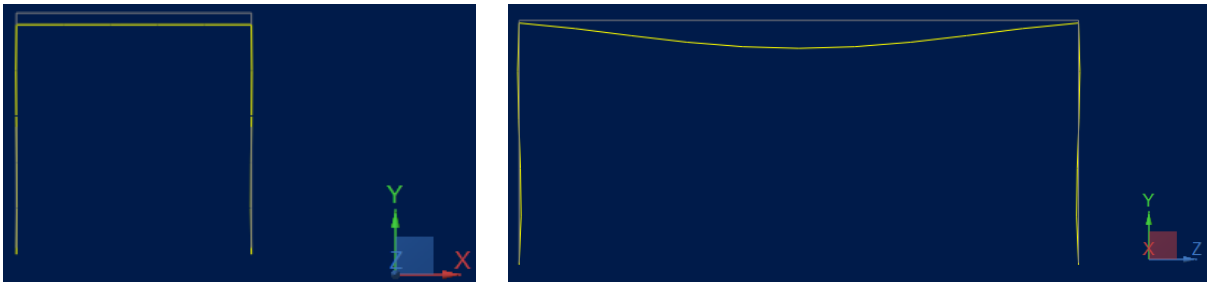


Figura 33. Pórtico de la columna. Deformada para ELU = 1,2D + 1,6 L en dirección X y Z respectivamente.



Figura 34. Pórticos indesplazables y desplazables, según (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición).

Se entra a los mismos con la relación G de suma de rigideces de vigas y de columnas que concurren a los nudos extremos de la barra, determinado como:

$$G = \frac{\sum\left(\frac{I_c}{L_c}\right)}{\sum\left(\frac{I_g}{L_g}\right)}$$

En donde:

- $\sum\left(\frac{I_c}{L_c}\right)$: sumatoria de la relación entre la inercia y la longitud de las columnas que concurren al nudo;
- $\sum\left(\frac{I_g}{L_g}\right)$: sumatoria de la relación entre la inercia y la longitud de las vigas que concurren al nudo;

- I_c =: momento de inercia de las columnas que concurren al nudo;
- L_c =: longitud no arriostrada de las columnas que concurren al nudo;
- I_g =: momento de inercia de las vigas que concurren al nudo;
- L_g =: longitud no arriostrada de las vigas que concurren al nudo.

El valor de G debe ser determinado en ambos extremos de la columna consignada, tanto en X como en Z.

Determinación del factor de longitud efectiva en dirección X

- En el extremo inferior concurren la columna, cuyo momento de inercia es $I_c = 2700\ cm^4$ y altura $L_c = 260\ cm$, y una viga W4×13, cuyo momento de inercia es $I_{ginf} = 470\ cm^4$ con una luz de $L_{ginf} = 260\ cm$.

$$G_A = \frac{\frac{I_c}{L_c}}{\frac{I_{ginf}}{L_{ginf}}}$$

$$G_A = \frac{\left(\frac{2700\ cm^4}{260\ cm}\right)}{\left(\frac{470\ cm^4}{260\ cm}\right)}$$

$$G_A = 5{,}74$$

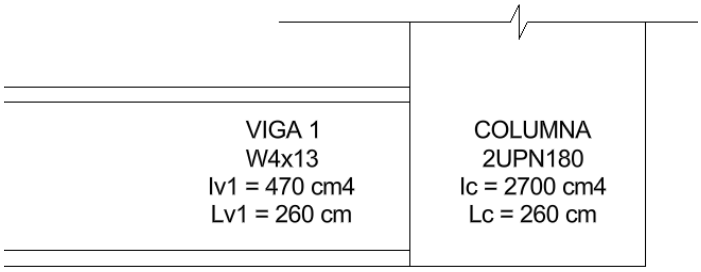


Figura 35. Nudo inferior al que concurren la columna y la viga, en dirección X.

- En el extremo superior concurren la columna, cuyo momento de inercia es $I_c = 2700\ cm^4$ y altura $L_c = 260\ cm$, y una viga W8×24, cuyo momento de inercia es $I_{gsup} = 3446\ cm^4$ con una luz de $L_{gsup} = 260\ cm$.

$$G_B = \frac{\frac{I_c}{L_c}}{\frac{I_{gsup}}{L_{gsup}}}$$

$$G_B = \frac{\left(\frac{2700\ cm^4}{260\ cm}\right)}{\left(\frac{3446\ cm^4}{260\ cm}\right)}$$

$$G_B = 0{,}78$$

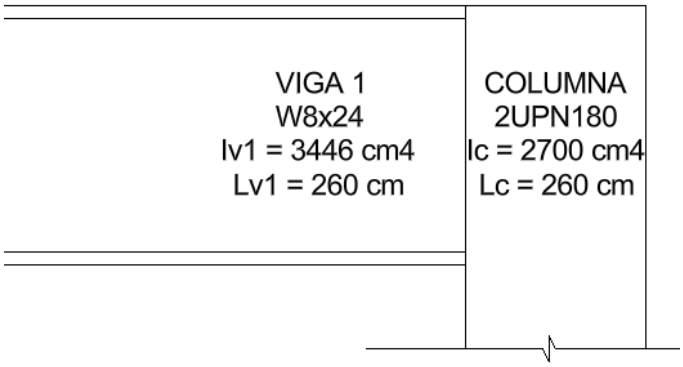


Figura 36. Nudo superior al que concurren la columna y la viga, en dirección X.

Al ingresar al nomograma con estos valores de $G_A = 5{,}74$ y $G_B = 0{,}78$, se determina que el factor de longitud efectiva en esta dirección es:

$$k_x = 0{,}83$$

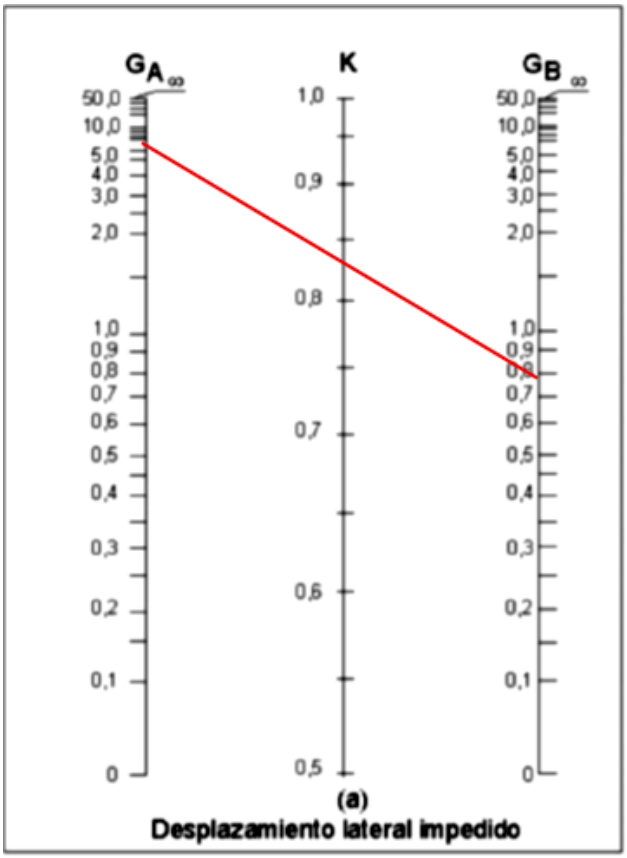


Figura 37. Factor de longitud efectiva en la dirección X.

Resultando entonces la esbeltez efectiva alrededor de X:

$$\lambda_x = \frac{\kappa_x \times L_c}{r_x}$$

$$\lambda_x = \frac{0{,}83 \times 260\ cm}{2{,}73\ cm}$$

$$\lambda_x = 79{,}05$$

Determinación del factor de longitud efectiva en dirección Z

- En el extremo inferior concurren la columna, cuyo momento de inercia es $I_c = 1673\ cm^4$ y altura $L_c = 260\ cm$, y una viga W4×13, cuyo momento de inercia es $I_{ginf} = 470\ cm^4$ con una luz de $L_{ginf} = 600\ cm$.

$$G_A = \frac{\frac{I_c}{L_c}}{\frac{I_{ginf}}{L_{ginf}}}$$

$$G_A = \frac{\left(\frac{1673\ cm^4}{260\ cm}\right)}{\left(\frac{470\ cm^4}{600\ cm}\right)}$$

$$G_A = 8{,}21$$

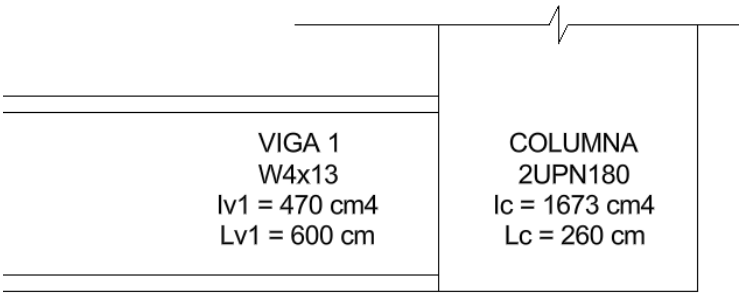


Figura 38. Nudo inferior al que concurren la columna y la viga, en dirección Z.

- En el extremo superior concurren la columna, cuyo momento de inercia es $I_c = 16913{,}6\ cm^4$ y altura $L_c = 260\ cm$, y una viga W8×24, cuyo momento de inercia es $I_{gsup} = 3446\ cm^4$ con una luz de $L_{gsup} = 600\ cm$.

$$G_B = \frac{\frac{I_c}{L_c}}{\frac{I_{gsup}}{L_{gsup}}}$$

$$G_B = \frac{\left(\frac{1673\ cm^4}{260\ cm}\right)}{\left(\frac{3446\ cm^4}{600\ cm}\right)}$$

$$G_B = 1{,}12$$

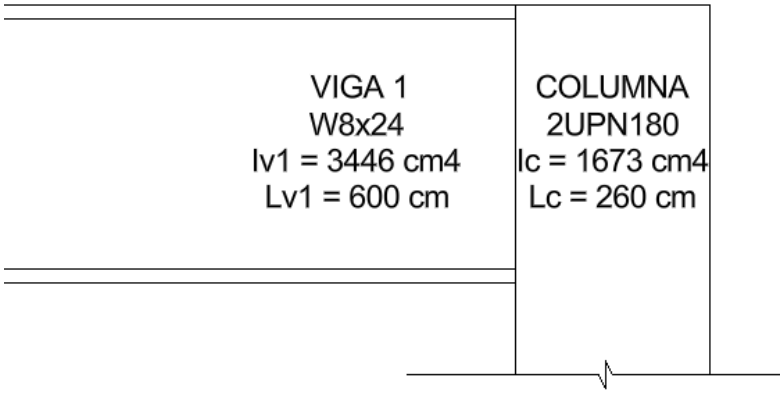


Figura 39. Nudo superior al que concurren la columna y la viga, en dirección Z.

Al ingresar al nomograma con estos valores de $G_A = 8{,}21$ y $G_B = 1{,}12$, se determina que el factor de longitud efectiva en esta dirección es:

$$k_z = 0{,}86$$

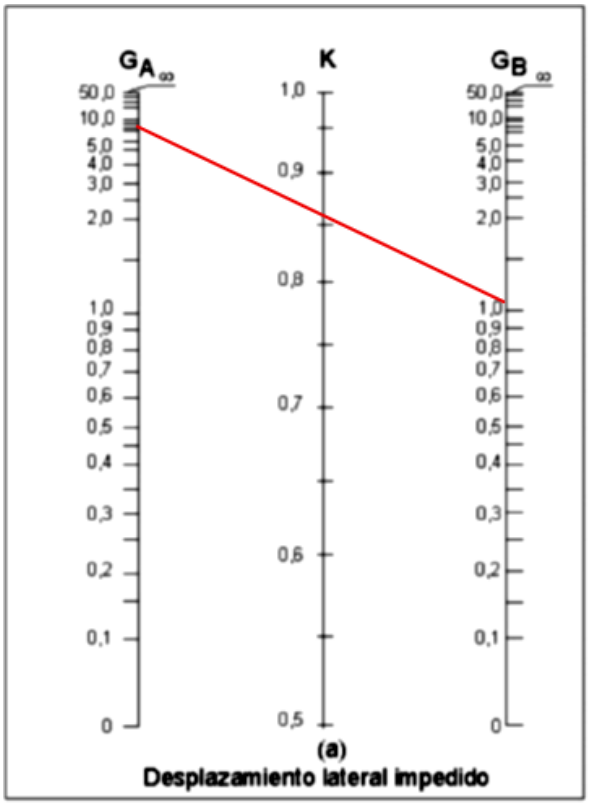


Figura 40. Factor de longitud efectiva en la dirección Z.

Resultando entonces la esbeltez efectiva alrededor de Z:

$$\lambda_z = \frac{\kappa_z \times L_c}{r_z}$$

$$\lambda_z = \frac{0{,}86 \times 260\ cm}{9{,}7\ cm}$$

$$\lambda_z = 21{,}98$$

Finalmente, la mayor esbeltez efectiva resulta ser:

$$\lambda = \max(\lambda_x; \lambda_z)$$

$$\lambda = \max(79{,}05; 21{,}98)$$

$$\lambda = 79{,}05$$

A partir de estos valores, se determina la esbeltez reducida de la columna mediante:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \times \lambda$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{250\ MPa}{200000\ MPa}} \times 79{,}05$$

$$\lambda_c = 0{,}89$$

En donde:

- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del material de la columna;
- $E = 200000\ MPa$: módulo elástico del material de la columna;
- $\lambda = 79{,}05$: esbeltez efectiva de la columna.

Conocida la esbeltez reducida, se calcula la tensión crítica de pandeo. Dado que el valor obtenido corresponde al rango inelástico, se emplea la siguiente expresión:

$$F_{cri} = 0{,}658^{\lambda_c{}^2} \times F_y$$

$$F_{cri} = 0{,}658^{0{,}89^2} \times 250\ MPa$$

$$F_{cri} = 179{,}46\ MPa$$

El área de la sección transversal de la sección equivalente es:

$$A_g = 112\ cm^2$$

Por lo tanto, la resistencia nominal a compresión se determina como:

$$P_n = F_{cri} \times A_g$$

$$P_n = 179{,}46\ MPa \times 112\ cm^2$$

$$P_n = 2009{,}9\ kN$$

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}85$, la resistencia de diseño es:

$$P_d = \phi \times P_n$$

$$P_d = 0{,}85 \times 2009{,}9\ kN$$

$$P_d = 1708{,}4\ kN$$

De esta manera, al comparar la resistencia de diseño con la compresión última de la columna, queda verificado al pandeo.

$$P_d = 1708{,}4\ kN > P_u = 228{,}67\ kN$$

10.6.2.2. Verificación a flexión alrededor del eje fuerte (X) y obtención de M_{nx}

El ala del perfil constituye un elemento rigidizado, cuya relación de esbeltez se determina mediante:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{t_f}$$

$$\lambda_f = \frac{140\ mm}{11\ mm}$$

$$\lambda_f = 12{,}73$$

La esbeltez límite para las alas de secciones cajón soldadas resulta:

$$\lambda_p = 500 \times \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 500 \times \sqrt{\frac{1}{250}}$$

$$\lambda_p = 31{,}62$$

Dado que $\lambda_f < \lambda_p$ se concluye que las alas del perfil son compactas.

Por otra parte, el alma también constituye un elemento rigidizado, cuya relación de esbeltez es:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}$$

$$\lambda_w = \frac{133\ mm}{8\ mm}$$

$$\lambda_w = 16{,}63$$

La esbeltez límite correspondiente se determina mediante:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 106{,}25$$

Al verificarse que $\lambda_w < \lambda_p$ se concluye que el alma también corresponde a un elemento compacto.

Como tanto el ala como el alma resultan compactas, la sección se clasifica como compacta. En consecuencia, los estados límite últimos de flexión que corresponde verificar son la plastificación de la sección y el pandeo lateral torsional, descartando abolladuras en alas y almas al no tratarse de elementos esbeltos.

Plastificación

La primera verificación corresponde al estado límite de plastificación de la sección.

Para determinar la resistencia nominal a flexión, se calculan el momento elástico M_y y el momento plástico M_p de la sección, igual que en el caso de las vigas.

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{6554\ cm^4}{18\ cm/2} = 728{,}22\ cm^3$, donde $I_x = \left(I_{x1} + n_{p1} \times A_1 \times d_1^2\right) + \left(I_{x2} + n_{p2} \times A_2 \times d_2^2\right) = (925\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times (7\ cm)^2) + (925\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times (7\ cm)^2) = 6554\ cm^4$ es el momento de inercia alrededor del eje X y $h = 18\ cm$ es la altura de la sección. I_{xi} es la inercia del perfil UPN180, n_{pi} es la cantidad de perfiles que forman una columna, A_i es el área del perfil UPN180 y d_i es la distancia entre el centro de gravedad de la columna y el centro de gravedad del perfil.
- Módulo resistente plástico: $Z_x = 2 \times \left(2A_f d_f + 2A_w d_w\right) \times 2 = 2 \times 770\ mm^2 \times 84{,}5\ mm + 2 \times 632\ mm^2 \times 39{,}5\ mm \times 2 = 720\ cm^3$, donde $A_f = 770\ mm^2$ corresponde al área de una de las alas del perfil UPN180, $d_f = 84{,}5\ mm$ es la distancia desde el centroide de dicha ala hasta el eje neutro plástico. Por su parte, $A_w = 632\ mm^2$ representa el área de la mitad del alma ubicada a un lado del eje neutro plástico, que $d_w = 39{,}5\ mm$ corresponde a la distancia entre el centroide de dicha porción del alma y el eje. El primer factor 2 contempla la presencia de los dos perfiles UPN que conforman la sección compuesta, mientras que el segundo factor 2, incluido dentro del paréntesis, considera la simetría de cada perfil respecto del eje x. Por otra parte, el tercer factor 2 contempla que se cuenta con dos columnas contiguas, dispuestas de manera simétrica.
- Momento elástico: $M_y = 1{,}5 \times S_x \times F_y = 1{,}5 \times 728{,}22\ cm^3 \times 250\ MPa = 273{,}1\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_x \times F_y = 720\ cm^3 \times 250\ MPa = 180\ kNm$

Al resultar $M_p < 1{,}5 \times M_y$ el momento nominal para el estado límite de plastificación es $M_{n1} = 180\ kNm$.

Pandeo lateral torsional

Además de la plastificación de la sección, se verifica el estado límite de pandeo lateral torsional.

En este caso, al verificarse que $\mathrm{L_b} < L_p$, la viga no se ve afectada por el pandeo lateral torsional, es decir, que $M_{nx} = M_{n1} = 180\ kNm$. Esto se debe a que:

- Longitud lateralmente no arriostrada: $L_b = 260\ cm$
- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_p = 709 \times r_z \times \frac{1}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_p = 709 \times 8{,}45\ cm \times \frac{1}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$L_p = 378{,}91\ cm$$

En donde $r_z = 8{,}45\ cm$ corresponde al radio de giro de la sección en el eje de menor inercia.

Resistencia de diseño

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene:

$$M_{dx} = \phi \times M_{nx}$$

$$M_{dx} = 0{,}90 \times 180\ kNm$$

$$M_{dx} = 162\ kNm$$

Verificación

Al resultar $M_{dx} = 162\ kNm > M_{ux} = 31{,}73\ kNm$, queda verificada la flexión alrededor del eje X.

10.6.2.3. Verificación a flexión alrededor del eje débil (Z) y determinación de M_{nz}

Como se verificó en el apartado anterior, tanto el ala como el alma resultan compactas, por lo que la sección se clasifica como compacta. En consecuencia, los estados límite últimos que corresponde verificar para la flexión alrededor del eje débil es únicamente la plastificación de la sección.

Plastificación

La primera verificación corresponde al estado límite de plastificación de la sección.

Para determinar la resistencia nominal a flexión, se calculan el momento elástico M_y y el momento plástico M_p de la sección, igual que en el caso de las vigas.

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_z = \frac{I_z}{h} = \frac{8004\ cm^4}{14\ cm} = 571{,}7\ cm^3$, donde $I_z = \left(I_{z1} + n_{p1} \times A_1 \times d_1^2\right) + \left(I_{z2} + n_{p2} \times A_2 \times d_2^2\right) = \left(114\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times \left(\frac{18\ cm}{2}\right)^2\right) + \left(114\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times \left(\frac{18}{2}\ cm\right)^2\right) = 8004\ cm^4$ es el momento de inercia alrededor del eje X y $h = 14\ cm$ es la distancia entre el eje Z y la fibra extrema de la columna. I_{zi} es la inercia del perfil UPN180, n_{pi} es la cantidad de perfiles que forman una columna, A_i es el área del perfil UPN180 y d_i es la distancia entre el centro de gravedad de la columna y el centro de gravedad del perfil.
- Módulo resistente plástico: $Z_z = 2 \times (Ad) \times 2 = 2 \times (28\ cm^2 \times 5{,}08\ cm) \times 2 = 569\ cm^3$, donde $A = 28\ cm^2$ corresponde al área de cada perfil UPN y $d = 5{,}08\ cm$ es la distancia entre el centroide de cada perfil y el eje z. Finalmente, el primer factor 2 se debe a que la sección está compuesta por dos perfiles UPN y el segundo a que se cuenta con dos columnas de igual sección.
- Momento elástico: $M_y = 1{,}5 \times S_z \times F_y = 1{,}5 \times 571{,}7\ cm^3 \times 250\ MPa = 214{,}39\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_z \times F_y = 569\ cm^3 \times 250\ MPa = 142{,}25\ kNm$

Al resultar $M_p < 1{,}5 \times M_y$ el momento nominal para el estado límite de plastificación es:

$$M_{nz1} = 142{,}25\ kNm$$

Pandeo lateral torsional

Además de la plastificación de la sección, se verifica el estado límite de pandeo lateral torsional.

Al igual que en la flexión alrededor del eje fuerte, se verifica que $L_b < L_p$. Es por ello que la viga no se ve afectada por el pandeo lateral torsional, es decir, que $M_{nz} = M_{nz1} = 142{,}25\ kNm$. Esto se debe a que:

- Longitud lateralmente no arriostrada: $L_b = 260\ cm$
- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_p = 709 \times r_z \times \frac{1}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_p = 709 \times 8{,}45\ cm \times \frac{1}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$L_p = 378{,}91\ cm$$

En donde $r_z = 8{,}45\ cm$ corresponde al radio de giro de la sección en el eje de menor inercia.

Resistencia de diseño

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene:

$$M_{dz} = \phi \times M_{nz}$$

$$M_{dz} = 0{,}90 \times 142{,}25\ kNm$$

$$M_{dz} = 128{,}02\ kNm$$

Verificación

Al resultar $M_{dz} = 128{,}02\ kNm > M_{uz} = 14{,}23\ kNm$, queda verificada la flexión alrededor del eje Z.

10.6.2.4. Flexocompresión

Al resultar $\frac{P_u}{0{,}85 \times P_n} = \frac{228{,}67\ kN}{0{,}85 \times 2009{,}9\ kN} = 013$, la ecuación para evaluar la interacción entre ambas solicitaciones es:

$$\frac{P_u}{2 \times 0{,}85 \times P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{0{,}90 \times M_{nx}} + \frac{M_{uz}}{0{,}90 \times M_{nz}}\right) \leq 1$$

$$\frac{228{,}67\ kN}{2 \times 0{,}85 \times 2009{,}9\ kN} + \left(\frac{31{,}73\ kNm}{0{,}90 \times 180\ kNm} + \frac{14{,}23\ kNm}{0{,}90 \times 142{,}25\ kNm}\right) \leq 1$$

$$0{,}37 < 1$$

De este modo, queda verificada la interacción entre la compresión y la flexión en la columna.

10.6.2.5. Resistencia nominal a corte

A continuación, se verifica la resistencia de la viga frente a los esfuerzos cortantes. En primer lugar, se evalúa la esbeltez del alma para determinar si existe riesgo de abolladura por corte y establecer el coeficiente de corte correspondiente.

$$\lambda_w = 16{,}63$$

$$492 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} = 492 \times \sqrt{\frac{5}{250\ MPa}} = 69{,}58$$

$$\lambda_w < 69{,}58$$

Donde $k_v = 5$ para almas sin rigidizadores y $F_y = 250\ MPa$ es la tensión de fluencia del material de la columna.

Al verificarse que la esbeltez del alma se encuentra por debajo del valor límite reglamentario, no se produce la reducción de la resistencia por inestabilidad local, por lo que se adopta un coeficiente de corte $C_v = 1$. En consecuencia, la resistencia nominal a corte se determina mediante la expresión correspondiente para almas no susceptibles al pandeo por corte.

$$V_n = 0{,}60 \times F_y \times A_w \times C_v$$

$$V_n = 0{,}60 \times 250\ MPa \times 10{,}64\ cm^2 \times 1$$

$$V_n = 159{,}6\ kN$$

Donde:

- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del perfil;
- $A_w = 10{,}64\ cm^2$: área del alma del perfil.

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene la resistencia de diseño:

$$V_d = \phi \times V_n$$

$$V_d = 0{,}90 \times 159{,}6\ kN$$

$$V_d = 143{,}64\ kN$$

Finalmente, la verificación del corte en el perfil de la columna resulta satisfactoria:

$$V_d = 143{,}64\ kN > V_u = 23{,}52\ kN$$

10.6.3. COLUMNAS – CONDICIÓN CRÍTICA COMPRESIÓN

Como se mencionó anteriormente, las columnas 51 y 55 del modelo de la torre 1 cuentan con la condición crítica de compresión.

Las columnas constituyen elementos sometidos predominantemente a esfuerzos de compresión. En este tipo de miembros, la capacidad resistente se encuentra condicionada no solo por la resistencia del material y las propiedades geométricas de la sección, sino también por la estabilidad global del elemento.

La columna más solicitada se encuentra sometida a un esfuerzo axil de compresión, flexión y corte. Es decir, que se debe verificar a la misma a:

- Flexo-compresión: considerando el pandeo y la flexión propia de la columna de manera independiente, para luego realizar la verificación de la interacción entre ambas solicitaciones;
- Esfuerzo cortante.

Para la flexo-compresión, se deben conocer en primera instancia los valores de:

- P_n: compresión nominal de la columna, determinada según el Capítulo 4 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición)* para la mayor esbeltez efectiva $\lambda = \frac{k \times L}{r}$.
- $P_u = -300{,}18\ kN$: compresión última que recibe la columna, obtenida la envolvente de combinaciones últimas;
- M_{nx}: resistencia nominal a flexión alrededor de X del miembro determinada según el Capítulo 7 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición);*
- $M_{ux} = -18{,}8\ kNm$: momento flector alrededor de X requerido de la columna, obtenido de la envolvente de combinaciones últimas;
- M_{nz}: resistencia nominal a flexión alrededor de Z del miembro determinada según el Capítulo 7 de *Troglia (2018) en Estructuras Metálicas. Proyecto por Estados Límites (8.ª edición);*
- $M_{uz} = -0{,}47\ kNm$: momento flector alrededor de Z requerido de la columna, obtenido de la envolvente de combinaciones últimas;
- $\phi_c = 0{,}85$: factor de resistencia para la compresión;
- $\phi_b = 0{,}90$: factor de resistencia para la flexión.

10.6.3.1. Verificación a pandeo y obtención de P_n

La determinación de P_n se realiza con la siguiente expresión:

$$P_n = F_{cri} \times A_g$$

Pero, para poder calcularla, se debe determinar antes cuál es la mayor esbeltez efectiva $\lambda = \frac{k \times L}{r}$.

Al analizarse un nudo al que llegan las mismas secciones de viga y columna, la esbeltez será igual que en el apartado anterior. Es decir:

$$\lambda = 79{,}05$$

A partir de estos valores, se determina la esbeltez reducida de la columna mediante:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} \times \lambda$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \sqrt{\frac{250\ MPa}{200000\ MPa}} \times 79{,}05$$

$$\lambda_c = 0{,}89$$

En donde:

- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del material de la columna;
- $E = 200000\ MPa$: módulo elástico del material de la columna;
- $\lambda = 79{,}05$: esbeltez efectiva de la columna.

Conocida la esbeltez reducida, se calcula la tensión crítica de pandeo. Dado que el valor obtenido corresponde al rango inelástico, se emplea la siguiente expresión:

$$F_{cri} = 0{,}658^{\lambda_c{}^2} \times F_y$$

$$F_{cri} = 0{,}658^{0{,}89^2} \times 250\ MPa$$

$$F_{cri} = 179{,}46\ MPa$$

El área de la sección transversal del perfil es:

$$A_g = 112\ cm^2$$

Por lo tanto, la resistencia nominal a compresión se determina como:

$$P_n = F_{cri} \times A_g$$

$$P_n = 179{,}46\ MPa \times 112\ cm^2$$

$$P_n = 2009{,}9\ kN$$

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}85$, la resistencia de diseño es:

$$P_d = \phi \times P_n$$

$$P_d = 0{,}85 \times 2009{,}9\ kN$$

$$P_d = 1708{,}42\ kN$$

De esta manera, al comparar la resistencia de diseño con la compresión última de la columna, queda verificado al pandeo.

$$P_d = 1708{,}42\ kN > P_u = 300{,}18\ kN$$

10.6.3.2. Verificación a flexión alrededor del eje fuerte (X) y obtención de M_{nx}

El ala del perfil constituye un elemento rigidizado, cuya relación de esbeltez se determina mediante:

$$\lambda_f = \frac{b_f}{t_f}$$

$$\lambda_f = \frac{140\ mm}{11\ mm}$$

$$\lambda_f = 12{,}73$$

La esbeltez límite para las alas de secciones cajón soldadas resulta:

$$\lambda_p = 500 \times \sqrt{\frac{1}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 500 \times \sqrt{\frac{1}{250}}$$

$$\lambda_p = 31{,}62$$

Dado que $\lambda_f < \lambda_p$ se concluye que las alas del perfil son compactas.

Por otra parte, el alma también constituye un elemento rigidizado, cuya relación de esbeltez es:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t_w}$$

$$\lambda_w = \frac{133\ mm}{8\ mm}$$

$$\lambda_w = 16{,}63$$

La esbeltez límite correspondiente se determina mediante:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 106{,}25$$

Al verificarse que $\lambda_w < \lambda_p$ se concluye que el alma también corresponde a un elemento compacto.

Como tanto el ala como el alma resultan compactas, la sección se clasifica como compacta. En consecuencia, los estados límite últimos de flexión que corresponde verificar son la plastificación de la sección y el pandeo lateral torsional, descartando abolladuras en alas y almas al no tratarse de elementos esbeltos.

Plastificación

La primera verificación corresponde al estado límite de plastificación de la sección.

Para determinar la resistencia nominal a flexión, se calculan el momento elástico M_y y el momento plástico M_p de la sección, igual que en el caso de las vigas.

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{6554\ cm^4}{18\ cm/2} = 728{,}22\ cm^3$, donde $I_x = \left(I_{x1} + n_{p1} \times A_1 \times d_1^2\right) + \left(I_{x2} + n_{p2} \times A_2 \times d_2^2\right) = (925\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times (7\ cm)^2) + (925\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times (7\ cm)^2) = 6554\ cm^4$ es el momento de inercia alrededor del

eje X y $h = 18\ cm$ es la altura de la sección. I_{xi} es la inercia del perfil UPN180, n_{pi} es la cantidad de perfiles que forman una columna, A_i es el área del perfil UPN180 y d_i es la distancia entre el centro de gravedad de la columna y el centro de gravedad del perfil.

- Módulo resistente plástico:

  $Z_x = 2 \times (2A_f d_f + 2A_w d_w) \times 2 = 2 \times 770\ mm^2 \times 84{,}5\ mm + 2 \times 632\ mm^2 \times 39{,}5\ mm \times 2 = 720\ cm^3$, donde $A_f = 770\ mm^2$ corresponde al área de una de las alas del perfil UPN180, $d_f = 84{,}5\ mm$ es la distancia desde el centroide de dicha ala hasta el eje neutro plástico. Por su parte, $A_w = 632\ mm^2$ representa el área de la mitad del alma ubicada a un lado del eje neutro plástico, que $d_w = 39{,}5\ mm$ corresponde a la distancia entre el centroide de dicha porción del alma y el eje. El primer factor 2 contempla la presencia de los dos perfiles UPN que conforman la sección compuesta, mientras que el segundo factor 2, incluido dentro del paréntesis, considera la simetría de cada perfil respecto del eje x. Por otra parte, el tercer factor 2 contempla que se cuenta con dos columnas contiguas, dispuestas de manera simétrica.

- Momento elástico: $M_y = 1{,}5 \times S_x \times F_y = 1{,}5 \times 728{,}22\ cm^3 \times 250\ MPa = 273{,}1\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_x \times F_y = 720\ cm^3 \times 250\ MPa = 180\ kNm$

Al resultar $M_p < 1{,}5 \times M_y$ el momento nominal para el estado límite de plastificación es $M_{n1} = 180\ kNm$.

Pandeo lateral torsional

Además de la plastificación de la sección, se verifica el estado límite de pandeo lateral torsional.

En este caso, al verificarse que $\mathrm{L_b} < L_p$, la viga no se ve afectada por el pandeo lateral torsional, es decir, que $M_{nx} = M_{n1} = 180\ kNm$. Esto se debe a que:

- Longitud lateralmente no arriostrada: $L_b = 260\ cm$
- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_p = 709 \times r_z \times \frac{1}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_p = 709 \times 8{,}45\ cm \times \frac{1}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$L_p = 378{,}91\ cm$$

En donde $r_z = 8{,}45\ cm$ corresponde al radio de giro de la sección en el eje de menor inercia.

Resistencia de diseño

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene:

$$M_{dx} = \phi \times M_{nx}$$

$$M_{dx} = 0{,}90 \times 180\ kNm$$

$$M_{dx} = 162\ kNm$$

Verificación

Al resultar $M_{dx} = 162\ kNm > M_{ux} = 18{,}8\ kNm$, queda verificada la flexión alrededor del eje X.

10.6.3.3. Verificación a flexión alrededor del eje débil (Z) y determinación de M_{nz}

Como se verificó en el apartado anterior, tanto el ala como el alma resultan compactas, por lo que la sección se clasifica como compacta. En consecuencia, los estados límite últimos que corresponde verificar para la flexión alrededor del eje débil es únicamente la plastificación de la sección.

Plastificación

La primera verificación corresponde al estado límite de plastificación de la sección.

Para determinar la resistencia nominal a flexión, se calculan el momento elástico M_y y el momento plástico M_p de la sección, igual que en el caso de las vigas.

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_z = \frac{I_z}{h} = \frac{8004\ cm^4}{14\ cm} = 571{,}7\ cm^3$, donde $I_z = \left(I_{z1} + n_{p1} \times A_1 \times d_1^2\right) + \left(I_{z2} + n_{p2} \times A_2 \times d_2^2\right) = \left(114\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times \left(\frac{18\ cm}{2}\right)^2\right) + \left(114\ cm^4 + 2 \times 24\ cm^2 \times \left(\frac{18}{2}\ cm\right)^2\right) = 8004\ cm^4$ es el momento de inercia alrededor del eje X y $h = 14\ cm$ es la distancia entre el eje Z y la fibra extrema de la columna. I_{zi} es la inercia del perfil UPN180, n_{pi} es la cantidad de perfiles que forman una columna, A_i es el área del perfil UPN180 y d_i es la distancia entre el centro de gravedad de la columna y el centro de gravedad del perfil.
- Módulo resistente plástico: $Z_z = 2 \times (Ad) \times 2 = 2 \times (28\ cm^2 \times 5{,}08\ cm) \times 2 = 569\ cm^3$, donde $A = 28\ cm^2$ corresponde al área de cada perfil UPN y $d = 5{,}08\ cm$ es la distancia entre el centroide de cada perfil y el eje z. Finalmente, el primer factor 2 se

debe a que la sección está compuesta por dos perfiles UPN y el segundo a que se cuenta con dos columnas de igual sección.

- Momento elástico: $M_y = 1{,}5 \times S_z \times F_y = 1{,}5 \times 571{,}7\ cm^3 \times 250\ MPa = 214{,}39\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_z \times F_y = 569\ cm^3 \times 250\ MPa = 142{,}25\ kNm$

Al resultar $M_p < 1{,}5 \times M_y$ el momento nominal para el estado límite de plastificación es:

$$M_{nz1} = 142{,}25\ kNm$$

Pandeo lateral torsional

Además de la plastificación de la sección, se verifica el estado límite de pandeo lateral torsional.

Al igual que en la flexión alrededor del eje fuerte, se verifica que $L_b < L_p$. Es por ello que la viga no se ve afectada por el pandeo lateral torsional, es decir, que $M_{nz} = M_{nz1} = 142{,}25\ kNm$. Esto se debe a que:

- Longitud lateralmente no arriostrada: $L_b = 260\ cm$
- Longitud lateralmente no arriostrada límite:

$$L_p = 709 \times r_z \times \frac{1}{\sqrt{F_y}}$$

$$L_p = 709 \times 8{,}45\ cm \times \frac{1}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$L_p = 378{,}91\ cm$$

En donde $r_z = 8{,}45\ cm$ corresponde al radio de giro de la sección en el eje de menor inercia.

Resistencia de diseño

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene:

$$M_{dz} = \phi \times M_{nz}$$

$$M_{dz} = 0{,}90 \times 142{,}25\ kNm$$

$$M_{dz} = 128{,}02\ kNm$$

Verificación

Al resultar $M_{dz} = 128{,}02\ kNm > M_{uz} = 0{,}47\ kNm$, queda verificada la flexión alrededor del eje Z.

10.6.3.4. Flexocompresión

Al resultar $\frac{P_u}{0{,}85 \times P_n} = \frac{228{,}67\ kN}{0{,}85 \times 2009{,}9\ kN} = 0{,}13$, la ecuación para evaluar la interacción entre ambas solicitaciones es:

$$\frac{P_u}{2 \times 0{,}85 \times P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{0{,}90 \times M_{nx}} + \frac{M_{uz}}{0{,}90 \times M_{nz}}\right) \leq 1$$

$$\frac{300{,}18\ kN}{2 \times 0{,}85 \times 2009{,}9\ kN} + \left(\frac{18{,}8\ kNm}{0{,}90 \times 180\ kNm} + \frac{0{,}47\ kNm}{0{,}90 \times 142{,}25\ kNm}\right) \leq 1$$

$$0{,}21 < 1$$

De este modo, queda verificada la interacción entre la compresión y la flexión en la columna.

10.6.3.5. Resistencia nominal a corte

A continuación, se verifica la resistencia de la viga frente a los esfuerzos cortantes. En primer lugar, se evalúa la esbeltez del alma para determinar si existe riesgo de abolladura por corte y establecer el coeficiente de corte correspondiente.

$$\lambda_w = 16{,}63$$

$$492 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_y}} = 492 \times \sqrt{\frac{5}{250\ MPa}} = 69{,}58$$

$$\lambda_w < 69{,}58$$

Donde $k_v = 5$ para almas sin rigidizadores y $F_y = 250\ MPa$ es la tensión de fluencia del material de la columna.

Al verificarse que la esbeltez del alma se encuentra por debajo del valor límite reglamentario, no se produce la reducción de la resistencia por inestabilidad local, por lo que se adopta un coeficiente de corte $C_v = 1$. En consecuencia, la resistencia nominal a corte se determina mediante la expresión correspondiente para almas no susceptibles al pandeo por corte.

$$V_n = 0{,}60 \times F_y \times A_w \times C_v$$

$$V_n = 0{,}60 \times 250\ MPa \times 10{,}64\ cm^2 \times 1$$

$$V_n = 159{,}6\ kN$$

Donde:

- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del perfil;
- $A_w = 10{,}64\ cm^2$: área del alma del perfil.

Aplicando un factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene la resistencia de diseño:

$$V_d = \phi \times V_n$$

$$V_d = 0{,}90 \times 159{,}6\ kN$$

$$V_d = 143{,}64\ kN$$

Finalmente, la verificación del corte en el perfil de la columna resulta satisfactoria:

$$V_d = 143{,}64\ kN > V_u = 13{,}07\ kN$$

10.7. MEDIOS DE UNIÓN

Las uniones constituyen un aspecto fundamental del comportamiento estructural del sistema modular, ya que son las encargadas de garantizar la transmisión de esfuerzos entre los distintos elementos que conforman cada módulo y entre los módulos que integran la estructura final.

El sistema estructural propuesto requiere resolver tanto la vinculación entre los elementos que conforman individualmente cada módulo como la conexión entre los distintos módulos que integran la edificación. En función de las características de cada vinculación, se adoptaron diferentes soluciones constructivas.

Por un lado, las uniones entre los elementos estructurales pertenecientes a un mismo módulo se materializan mediante soldadura, permitiendo conformar una unidad estructural que pueda ser fabricada previamente y posteriormente trasladada hasta su ubicación definitiva.

Por otro lado, la vinculación entre los distintos módulos que conforman la edificación se materializa mediante placas de acero soldadas a las columnas de módulos adyacentes. Estas placas permiten establecer una conexión estructural entre las unidades, de manera que, una vez dispuestas en su posición definitiva, los módulos vinculados trabajen conjuntamente frente a las acciones actuantes sobre la estructura.

A continuación, se describen las soluciones adoptadas tanto para las uniones entre los elementos pertenecientes a un mismo módulo como para la vinculación entre módulos, junto con los criterios considerados para su diseño y verificación.

10.7.1. UNIONES ENTRE MÓDULOS

En los puntos de vinculación entre módulos confluyen las columnas pertenecientes a las unidades adyacentes. En los niveles intermedios, cada uno de estos encuentros involucra cuatro columnas: dos correspondientes a los módulos del nivel inferior y dos a los módulos del nivel superior. En los módulos del piso final, o y de la vivienda, confluyen dos columnas pertenecientes al mismo nivel. En las esquinas de las torres, en los pisos intermedios, se deben unir dos columnas, pero de pisos diferentes. Es por ello que se diseñan uniones entre módulos de pisos intermedios, uniones para los módulos del último piso, y uniones para las esquinas de los módulos.

En concordancia con el modelo estructural adoptado, los elementos concurrentes en estos nudos fueron considerados sin liberaciones de extremo. Por este motivo, las uniones deben ser capaces de transmitir las solicitaciones desarrolladas en dichos puntos, correspondientes a esfuerzos normales, esfuerzos de corte y momentos flectores, de manera de reproducir adecuadamente el comportamiento supuesto durante el análisis estructural.

Para materializar esta vinculación se disponen placas rectangulares soldadas entre las columnas adyacentes, cuyo dimensionamiento se realiza a partir de las solicitaciones obtenidas del modelo.

Cada unión se analiza considerando los seis grados de libertad asociados al nudo, correspondientes a tres traslaciones y tres rotaciones. Las solicitaciones vinculadas a estos grados de libertad se traducen en fuerzas y momentos que deben ser transmitidos a través de las placas y sus respectivas soldaduras. En consecuencia, se verifica que las tensiones resultantes en los cordones de soldadura, debidas a la acción combinada de esfuerzos normales, esfuerzos de corte y momentos, no superen la resistencia disponible de la unión.

10.7.1.1. Unión entre módulos intermedios – cuatro columnas

En primer lugar, se establecen las dimensiones preliminares de las placas de vinculación. Se adopta un ancho de $B = 150\,mm$. Para la altura H se adopta un valor de $H = 150\,mm$, resultando así una placa cuadrada de $150 \times 150\,mm$.

Para la vinculación soldada se propone inicialmente un cateto de $w = 8\,mm$. A partir de esta dimensión se adopta un espesor de placa de $t = 10\,mm$, de manera de disponer de un espesor compatible con el tamaño del cordón de soldadura previsto. Se contemplan además $2\,mm$ adicionales respecto del cateto adoptado, con el objeto de facilitar la ejecución y el control de la soldadura durante el montaje en obra, considerando que estas uniones se realizan en condiciones menos controladas que las disponibles durante la fabricación de los módulos en taller. La calidad de la soldadura se considera de $F_{EEX} = 480\,MPa$.

Capacidad de la soldadura

Para determinar la resistencia de diseño de la soldadura propuesta, se requiere conocer el área A_w, cuyo valor se determina como:

$$A_w = \frac{w}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = \frac{8\,mm}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = 5{,}66\,\frac{mm^2}{mm}$$

La tensión nominal en la soldadura viene dada por:

$$F_{nw} = 0{,}6 \times F_{EEX}$$

$$F_{nw} = 0{,}6 \times 480\ MPa$$

$$F_{nw} = 288\ MPa$$

El producto de ambos valores nos da la resistencia nominal al corte de la soldadura:

$$R_{nw} = F_{nw} \times A_w$$

$$R_{nw} = 288\ MPa\ \times 5{,}66 \frac{mm^2}{mm}$$

$$R_{nw} = 1{,}63\ \frac{kN}{mm}$$

Finalmente, aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño de la soldadura:

$$R_{dw} = \phi \times R_{nw}$$

$$R_{dw} = 0{,}75 \times 1{,}63 \frac{kN}{mm}$$

$$R_{dw} = 1{,}22 \frac{kN}{mm}$$

Con este valor de resistencia de diseño se debe verificar que las cargas aplicadas no generen una demanda de capacidad mayor a esta.

Propiedades de la sección

Anteriormente se determinaron las dimensiones de la placa, resultando las mismas de $B = 150\ mm$ y $H = 150\ mm$. De este modo, la longitud de soldadura disponible es de $l = 600\ mm$.

Además, se requiere conocer el módulo elástico de la misma, alrededor del eje fuerte (x), determinado como:

$$S_x = B \times H + \frac{H^2}{3}$$

$$S_x = 15\ cm \times 15\ cm + \frac{(15\ cm)^2}{3}$$

$$S_x = 300\ cm^3$$

El módulo elástico de la sección respecto al eje débil (z) es:

$$S_z = H \times B + \frac{B^2}{3}$$

$$S_z = 15\ cm \times 15\ cm + \frac{(15\ cm)^2}{3}$$

$$S_z = 300\ cm^3$$

Finalmente, la constante torsional de la soldadura es:

$$J_w = \frac{(B+H)^3}{6}$$

$$J_w = \frac{(15\ cm + 15\ cm)^3}{6}$$

$$J_w = 4500\ cm^4$$

Cargas aplicadas

Es importante determinar las solicitaciones que deberá resistir la soldadura de vinculación. Como se mencionó anteriormente, en cada nudo confluyen cuatro columnas correspondientes a los módulos adyacentes. Dado que no existen excentricidades entre las mismas, y adoptando un criterio conservador para el dimensionamiento, las solicitaciones actuantes sobre la unión se consideran iguales a dos veces las correspondientes a la columna individual más solicitada. De esta manera, las solicitaciones de diseño que se presentan a continuación:

- Compresión axil: $N_u = 300{,}18\ kN$;
- Flexión alrededor del eje fuerte (x): $M_{ux} = 31{,}73\ kNm$;
- Flexión alrededor del eje débil (z): $M_{uz} = -14{,}23\ kNm$;
- Corte: $V_u = 23{,}52\ kN$.

Tensión de la soldadura debido a cada componente de carga

Una vez determinadas las solicitaciones de diseño, se procede a evaluar los esfuerzos que cada una de ellas genera sobre el grupo de soldaduras. Debido a que la unión debe ser capaz de transmitir las acciones correspondientes a los seis grados de libertad del nudo, se consideran las tres componentes de fuerza $F_x, F_y\ y\ F_z$ y las tres componentes de momento $M_x, M_y\ y\ M_z$.

Las fuerzas actuantes generan esfuerzos de corte distribuidos sobre la longitud total efectiva de los cordones de soldadura. Para cada dirección, la demanda por unidad de longitud se obtiene distribuyendo la fuerza correspondiente sobre la longitud total del grupo soldado.

Por otra parte, los momentos M_x y M_y producen esfuerzos cuya magnitud depende de la geometría del grupo de soldaduras y de su módulo resistente respecto del eje correspondiente. Estos esfuerzos alcanzan sus valores máximos en los puntos más alejados del centro geométrico de la unión. El momento M_z, al actuar alrededor del eje perpendicular al plano de la placa, genera un efecto torsional sobre el grupo de soldaduras, cuya distribución se determina a partir de la constante torsional correspondiente.

De esta manera, para cada solicitación se obtiene una fuerza por unidad de longitud de soldadura, expresada en kN/mm.

- Corte por mm debido a la carga F_x:

  En este caso, la carga F_x es la compresión axil a la que se solicita la soldadura, es decir, $F_x = N_u = -300{,}18\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la compresión es:

$$f_x = \frac{F_x}{l}$$

$$f_x = \frac{-300{,}18\ kN}{600\ mm}$$

$$f_x = -0{,}5\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_y:

  En este caso, la carga F_y es el corte al que se solicita la soldadura, es decir, $F_y = V_u = 23{,}524\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido al corte es:

$$f_y = \frac{F_y}{l}$$

$$f_y = \frac{23{,}52\ kN}{600\ mm}$$

$$f_y = 0{,}04\ \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_z:

  En este caso, la carga $F_z = 0$, por lo que:

$$f_z = \frac{F_z}{l}$$

$$f_z = 0$$

- Corte por mm debido a M_x:

  En este caso, M_x es la flexión alrededor del eje fuerte, es decir, $M_x = M_{ux} = \ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje fuerte es:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{31{,}37\ kNm}{300\ cm^3}$$

$$m_x = 1{,}06\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_y:

En este caso, M_y es la flexión alrededor del eje débil, es decir, $M_y = M_{uz} = -14{,}23\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje débil es:

$$m_y = \frac{M_y}{S_z}$$

$$m_y = \frac{-14{,}23\ kNm}{300\ cm^3}$$

$$m_y = -0{,}47\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_z:

  En este caso, M_z =0 por lo que la tensión en la soldadura es:

$$m_{zh} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{H}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

$$m_{zv} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{B}{2}$$

$$m_{zv} = 0$$

Posteriormente, las distintas componentes se combinan vectorialmente de acuerdo con sus respectivas direcciones, distinguiendo entre aquellas contenidas en el plano de la unión y aquellas que actúan fuera de él.

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección del plano:

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(f_x + m_{z_h}\right)^2 + \left(f_y + m_{z_v}\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(-0{,}5\frac{kN}{mm} + 0\right)^2 + \left(0{,}04\frac{kN}{mm} + 0\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = 0{,}5\frac{kN}{mm}$$

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección fuera del plano:

$$f_{v_{trans}} = f_z + m_x + m_y$$

$$f_{v_{trans}} = 0 + 1{,}06\frac{kN}{mm} - 0{,}47\frac{kN}{mm}$$

$$f_{v_{ttrans}} = 0{,}58\frac{kN}{mm}$$

Finalmente, ambas componentes resultantes se combinan para determinar la máxima demanda por unidad de longitud actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{\left(f_{v_{long}}\right)^2 + \left(f_{v_{trans}}\right)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(0{,}5\,\frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(0{,}58\,\frac{kN}{mm}\right)^2}$$

$$f_R = 0{,}77\,\frac{kN}{mm}$$

El valor resultante constituye la solicitación de diseño de la soldadura y se compara con su resistencia de diseño por unidad de longitud. La unión se considera verificada ya que $R_{dw} = 1{,}22\,\frac{kN}{mm} > f_R = 0{,}77\,\frac{kN}{mm}$.

En la Figura 41 se puede observar la geometría final de la unión entre módulos de pisos intermedios, en las que confluyen cuatro columnas. Se puede observar que, si bien las verificaciones fueron realizadas para una placa de 150×150×10 mm, se adoptan como dimensiones finales 250×250×10 mm, debido a que se materializan en obra mediante trabajos de altura, lo que inducir errores o desprolijidades. Es por ello que se sobredimensiona la placa, estando del lado de la seguridad.

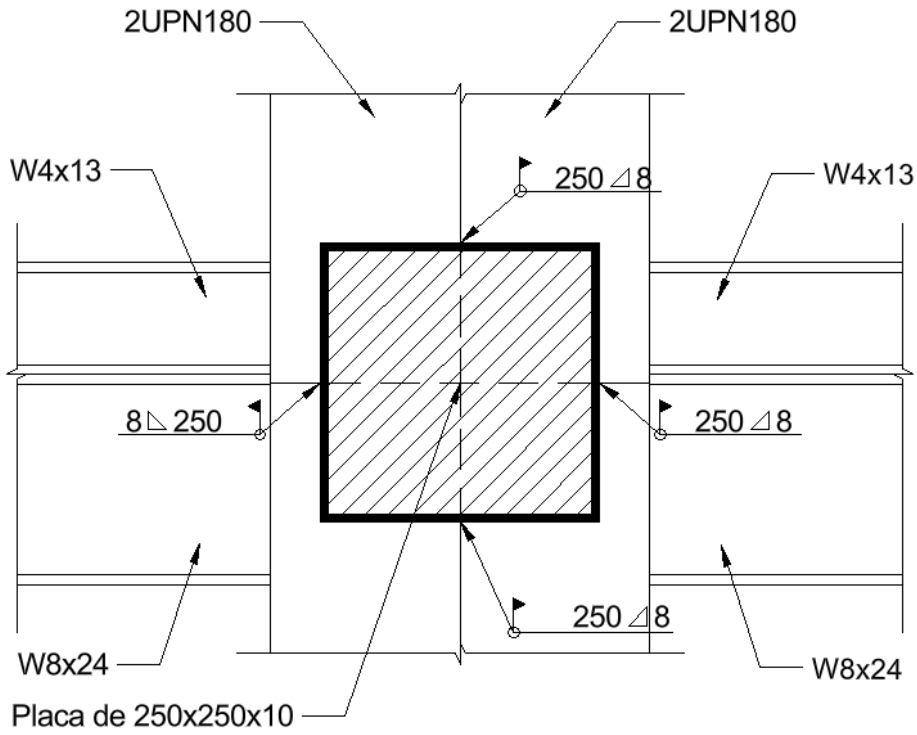


Figura 41. Geometría final de la unión entre módulos de pisos intermedios.

10.7.1.2. Unión entre módulos del último piso y de la vivienda – dos columnas

En primer lugar, se establecen las dimensiones preliminares de las placas de vinculación. Se adopta un ancho de $B = 120\ mm$. Para la altura se adopta igual a $H = 120\ mm$, resultando así una placa cuadrada de $120\ \times 120\ mm$.

Para la vinculación soldada se propone inicialmente un cateto de $w = 8\ mm$. A partir de esta dimensión se adopta un espesor de placa de $t = 10\ mm$, de manera de disponer de un espesor compatible con el tamaño del cordón de soldadura previsto. Se contemplan además $2\ mm$ adicionales respecto del cateto adoptado, con el objeto de facilitar la ejecución y el control de la soldadura durante el montaje en obra, considerando que estas uniones se realizan en condiciones menos controladas que las disponibles durante la fabricación de los módulos en taller. La calidad de la soldadura se considera de $F_{EEX} = 480\ MPa$.

Capacidad de la soldadura

Para determinar la resistencia de diseño de la soldadura propuesta, se requiere conocer el área A_w, cuyo valor se determina como:

$$A_w = \frac{w}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = \frac{8\ mm}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = 5{,}66\ mm^2$$

La tensión nominal en la soldadura viene dada por:

$$F_{nw} = 0{,}6 \times F_{EEX}$$

$$F_{nw} = 0{,}6 \times 480\ MPa$$

$$F_{nw} = 288\ MPa$$

El producto de ambos valores nos da la resistencia nominal al corte de la soldadura:

$$R_{nw} = F_{nw} \times A_w$$

$$R_{nw} = 288\ MPa\ \times 5{,}66\ mm^2$$

$$R_{nw} = 1{,}63\ \frac{kN}{mm}$$

Finalmente, aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño de la soldadura:

$$R_{dw} = \phi \times R_{nw}$$

$$R_{dw} = 0{,}75 \times 1{,}63 \frac{kN}{mm}$$

$$R_{dw} = 1{,}22\,\frac{kN}{mm}$$

Con este valor de resistencia de diseño se debe verificar que las cargas aplicadas no generen una demanda de capacidad mayor a esta.

Propiedades de la sección

Anteriormente se determinaron las dimensiones de la placa, resultando las mismas de $B = 120\ mm$ y $H = 120\ mm$. De este modo, la longitud de soldadura disponible es de $l = 480\ mm$.

Además, se requiere conocer el módulo elástico de la misma, alrededor del eje fuerte (x), determinado como:

$$S_x = B \times H + \frac{H^2}{3}$$

$$S_x = 12\ cm \times 12\ cm + \frac{(12\ cm)^2}{3}$$

$$S_x = 192\ cm^3$$

El módulo elástico de la sección respecto al eje débil (z) es:

$$S_z = H \times B + \frac{B^2}{3}$$

$$S_z = 12\ cm \times 12\ cm + \frac{(12\ cm)^2}{3}$$

$$S_z = 192\ cm^3$$

Finalmente, la constante torsional de la soldadura es:

$$J_w = \frac{(B+H)^3}{6}$$

$$J_w = \frac{(12\ cm + 12\ cm)^3}{6}$$

$$J_w = 2304\ cm^4$$

Cargas aplicadas

Es importante determinar las solicitaciones que deberá resistir la soldadura de vinculación. Como se mencionó anteriormente, en cada nudo confluyen dos columnas correspondientes a los módulos adyacentes. De esta manera, las solicitaciones de diseño se obtienen del modelo de la torre 1, ya que presenta valores superiores al modelo de la vivienda. Las mismas se presentan a continuación:

- Compresión axil: $N_u = -32{,}1\ kN$

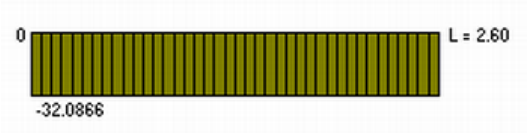


Figura 42. Esfuerzo de compresión máximo en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Flexión alrededor del eje fuerte (x): $M_{ux} = 26{,}89\ kNm$

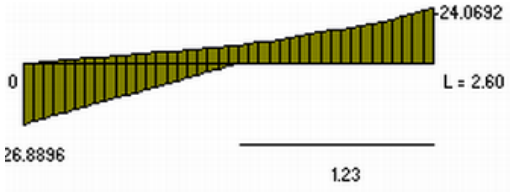


Figura 43. Flexión alrededor del eje fuerte (x) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Flexión alrededor del eje débil (z): $M_{uz} = -6{,}94\ kNm$

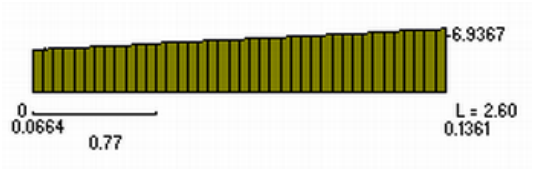


Figura 44. Flexión alrededor del eje débil (z) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Corte: $V_u = 19{,}6\ kN$

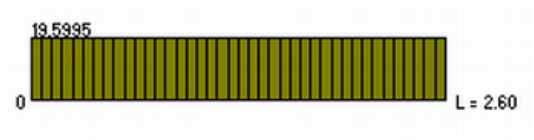


Figura 45. Esfuerzo de corte en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

Tensión de la soldadura debido a cada componente de carga

Una vez determinadas las solicitaciones de diseño, se procede a evaluar los esfuerzos que cada una de ellas genera sobre el grupo de soldaduras. Debido a que la unión debe ser capaz de transmitir las acciones correspondientes a los seis grados de libertad del nudo, se consideran las tres componentes de fuerza $F_x, F_y\ y\ F_z$ y las tres componentes de momento $M_x, M_y\ y\ M_z$.

Las fuerzas actuantes generan esfuerzos de corte distribuidos sobre la longitud total efectiva de los cordones de soldadura. Para cada dirección, la demanda por unidad de longitud se obtiene distribuyendo la fuerza correspondiente sobre la longitud total del grupo soldado.

Por otra parte, los momentos M_x y M_y producen esfuerzos cuya magnitud depende de la geometría del grupo de soldaduras y de su módulo resistente respecto del eje

correspondiente. Estos esfuerzos alcanzan sus valores máximos en los puntos más alejados del centro geométrico de la unión. El momento M_z, al actuar alrededor del eje perpendicular al plano de la placa, genera un efecto torsional sobre el grupo de soldaduras, cuya distribución se determina a partir de la constante torsional correspondiente.

De esta manera, para cada solicitación se obtiene una fuerza por unidad de longitud de soldadura, expresada en kN/mm.

- Corte por mm debido a la carga F_x:

  En este caso, la carga F_x es la compresión axil a la que se solicita la soldadura, es decir, $F_x = N_u = -31{,}2\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la compresión es:

$$f_x = \frac{F_x}{l}$$

$$f_x = \frac{-31{,}2\ kN}{480\ mm}$$

$$f_x = -0{,}07\,\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_y:

  En este caso, la carga F_y es el corte al que se solicita la soldadura, es decir, $F_y = V_u = 19{,}6\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido al corte es:

$$f_y = \frac{F_y}{l}$$

$$f_y = \frac{19{,}6\ kN}{480\ mm}$$

$$f_y = 0{,}04\ \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_z:

  En este caso, la carga $F_z = 0$, por lo que:

$$f_z = \frac{F_z}{l}$$

$$f_z = 0$$

- Corte por mm debido a M_x:

  En este caso, M_x es la flexión alrededor del eje fuerte, es decir, $M_x = M_{ux} = 26{,}89\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje fuerte es:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{26{,}89\ kNm}{192\ cm^3}$$

$$m_x = 1{,}4\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_y:

  En este caso, M_y es la flexión alrededor del eje débil, es decir, $M_y = M_{uz} = -6{,}94\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje débil es:

$$m_y = \frac{M_y}{S_z}$$

$$m_y = \frac{-6{,}94\ kNm}{192\ cm^3}$$

$$m_y = -0{,}36\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_z:

  En este caso, M_z =0 por lo que la tensión en la soldadura es:

$$m_{zh} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{H}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

$$m_{zv} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{B}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

Posteriormente, las distintas componentes se combinan vectorialmente de acuerdo con sus respectivas direcciones, distinguiendo entre aquellas contenidas en el plano de la unión y aquellas que actúan fuera de él.

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección del plano:

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(f_x + m_{z_h}\right)^2 + \left(f_y + m_{z_v}\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(-0{,}07\frac{kN}{mm} + 0\right)^2 + \left(0{,}04\frac{kN}{mm} + 0\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = 0{,}08\frac{kN}{mm}$$

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección fuera del plano:

$$f_{v_{trans}} = f_z + m_x + m_y$$

$$f_{v_{trans}} = 0 + 1{,}4\frac{kN}{mm} - 0{,}36\frac{kN}{mm}$$

$$f_{v_{ttrans}} = 1{,}04\frac{kN}{mm}$$

Finalmente, ambas componentes resultantes se combinan para determinar la máxima demanda por unidad de longitud actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{\left(f_{v_{long}}\right)^2 + \left(f_{v_{trans}}\right)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(0{,}08\frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(1{,}04\frac{kN}{mm}\right)^2}$$

$$f_R = 1{,}04\frac{kN}{mm}$$

El valor resultante constituye la solicitación de diseño de la soldadura y se compara con su resistencia de diseño por unidad de longitud. La unión se considera verificada ya que $R_{dw} = 1{,}22\frac{kN}{mm} > f_R = 1{,}04\frac{kN}{mm}$.

En la Figura 46 se puede observar la geometría final de la unión entre módulos del último piso y de la vivienda, en donde confluyen dos columnas. Se puede observar que, si bien las verificaciones fueron realizadas para una placa de 120×120×10 mm, se adoptan como dimensiones finales 250×200×10 mm, debido a que se materializan en obra mediante trabajos de altura, lo que inducir errores o desprolijidades. Es por ello que se sobredimensiona la placa, estando del lado de la seguridad.

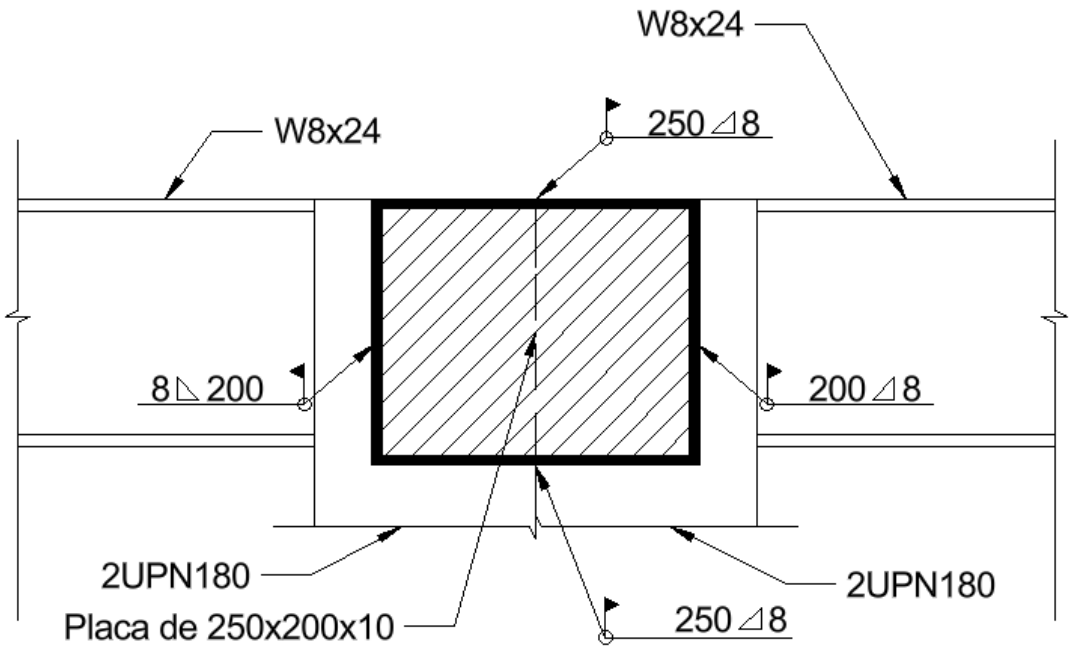


Figura 46. Geometría final de la unión entre módulos del piso final y la vivienda.

10.7.1.3. Unión entre módulos de las esquinas – dos columnas

En primer lugar, se establecen las dimensiones preliminares de las placas de vinculación. Se adopta un ancho de $B = 100\ mm$. Para la altura se adopta igual a $H = 150\ mm$, resultando así una placa rectangular de $100\ \times 150\ mm$.

Para la vinculación soldada se propone inicialmente un cateto de $w = 8\ mm$. A partir de esta dimensión se adopta un espesor de placa de $t = 10\ mm$, de manera de disponer de un espesor compatible con el tamaño del cordón de soldadura previsto. Se contemplan además $2\ mm$ adicionales respecto del cateto adoptado, con el objeto de facilitar la ejecución y el control de la soldadura durante el montaje en obra, considerando que estas uniones se realizan en condiciones menos controladas que las disponibles durante la fabricación de los módulos en taller. La calidad de la soldadura se considera de $F_{EEX} = 480\ MPa$.

Capacidad de la soldadura

Para determinar la resistencia de diseño de la soldadura propuesta, se requiere conocer el área A_w, cuyo valor se determina como:

$$A_w = \frac{w}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = \frac{8\ mm}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = 5{,}66\ mm^2$$

La tensión nominal en la soldadura viene dada por:

$$F_{nw} = 0{,}6 \times F_{EEX}$$

$$F_{nw} = 0{,}6 \times 480\ MPa$$

$$F_{nw} = 288\ MPa$$

El producto de ambos valores nos da la resistencia nominal al corte de la soldadura:

$$R_{nw} = F_{nw} \times A_w$$

$$R_{nw} = 288\ MPa\ \times 5{,}66\ mm^2$$

$$R_{nw} = 1{,}63\ \frac{kN}{mm}$$

Finalmente, aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño de la soldadura:

$$R_{dw} = \phi \times R_{nw}$$

$$R_{dw} = 0{,}75 \times 1{,}63 \frac{kN}{mm}$$

$$R_{dw} = 1{,}22\ \frac{kN}{mm}$$

Con este valor de resistencia de diseño se debe verificar que las cargas aplicadas no generen una demanda de capacidad mayor a esta.

Propiedades de la sección

Anteriormente se determinaron las dimensiones de la placa, resultando las mismas de $B = 100\ mm$ y $H = 150\ mm$. De este modo, la longitud de soldadura disponible es de $l = 500\ mm$.

Además, se requiere conocer el módulo elástico de la misma, alrededor del eje fuerte (x), determinado como:

$$S_x = B \times H + \frac{H^2}{3}$$

$$S_x = 10\ cm \times 15\ cm + \frac{(15\ cm)^2}{3}$$

$$S_x = 225\ cm^3$$

El módulo elástico de la sección respecto al eje débil (z) es:

$$S_z = H \times B + \frac{B^2}{3}$$

$$S_z = 15\ cm \times 10\ cm + \frac{(10\ cm)^2}{3}$$

$$S_z = 183\ cm^3$$

Finalmente, la constante torsional de la soldadura es:

$$J_w = \frac{(B+H)^3}{6}$$

$$J_w = \frac{(10\ cm + 15\ cm)^3}{6}$$

$$J_w = 2604\ cm^4$$

Cargas aplicadas

Es importante determinar las solicitaciones que deberá resistir la soldadura de vinculación. Como se mencionó anteriormente, en cada nudo confluyen dos columnas correspondientes a los módulos de distinto nivel. De esta manera, las solicitaciones de diseño se obtienen del modelo de la torre 1, ya que presenta solicitaciones superiores a la torre 2, y en el caso de la vivienda no habrá este tipo de unión. Las mismas se presentan a continuación:

- Compresión axil: $N_u = -154{,}35\ kN$

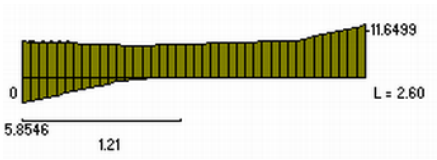


Figura 47. Esfuerzo de compresión máximo en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Flexión alrededor del eje fuerte (x): $M_{ux} = -11{,}65\ kNm$

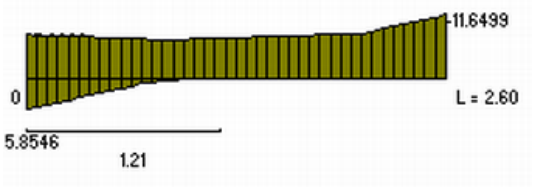


Figura 48. Flexión alrededor del eje fuerte (x) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Flexión alrededor del eje débil (z): $M_{uz} = -9{,}51\ kNm$

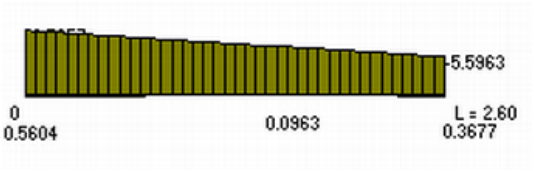


Figura 49. Flexión alrededor del eje débil (z) en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

- Corte: $V_u = 7{,}32\ kN$

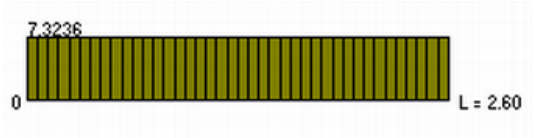


Figura 50. Esfuerzo de corte en las columnas del piso superior de la torre 1, modelo crítico.

Tensión de la soldadura debido a cada componente de carga

Una vez determinadas las solicitaciones de diseño, se procede a evaluar los esfuerzos que cada una de ellas genera sobre el grupo de soldaduras. Debido a que la unión debe ser capaz de transmitir las acciones correspondientes a los seis grados de libertad del nudo, se consideran las tres componentes de fuerza $F_x, F_y\ y\ F_z$ y las tres componentes de momento $M_x, M_y\ y\ M_z$.

Las fuerzas actuantes generan esfuerzos de corte distribuidos sobre la longitud total efectiva de los cordones de soldadura. Para cada dirección, la demanda por unidad de longitud se obtiene distribuyendo la fuerza correspondiente sobre la longitud total del grupo soldado.

Por otra parte, los momentos M_x y M_y producen esfuerzos cuya magnitud depende de la geometría del grupo de soldaduras y de su módulo resistente respecto del eje correspondiente. Estos esfuerzos alcanzan sus valores máximos en los puntos más alejados del centro geométrico de la unión. El momento M_z, al actuar alrededor del eje perpendicular al plano de la placa, genera un efecto torsional sobre el grupo de soldaduras, cuya distribución se determina a partir de la constante torsional correspondiente.

De esta manera, para cada solicitación se obtiene una fuerza por unidad de longitud de soldadura, expresada en kN/mm.

- Corte por mm debido a la carga F_x:

  En este caso, la carga F_x es la compresión axil a la que se solicita la soldadura, es decir, $F_x = N_u = -154{,}35\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la compresión es:

$$f_x = \frac{F_x}{l}$$

$$f_x = \frac{-154{,}35\ kN}{500\ mm}$$

$$f_x = -0{,}31\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_y:

  En este caso, la carga F_y es el corte al que se solicita la soldadura, es decir, $F_y = V_u = 7{,}32\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido al corte es:

$$f_y = \frac{F_y}{l}$$

$$f_y = \frac{7{,}32\ kN}{500\ mm}$$

$$f_y = 0{,}01\ \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_z:

  En este caso, la carga $F_z = 0$, por lo que:

$$f_z = \frac{F_z}{l}$$

$$f_z = 0$$

- Corte por mm debido a M_x:

  En este caso, M_x es la flexión alrededor del eje fuerte, es decir, $M_x = M_{ux} = -11{,}65\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje fuerte es:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{-11{,}65\ kNm}{225\ cm^3}$$

$$m_x = -0{,}52\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_y:

  En este caso, M_y es la flexión alrededor del eje débil, es decir, $M_y = M_{uz} = -9{,}51\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje débil es:

$$m_y = \frac{M_y}{S_z}$$

$$m_y = \frac{-9{,}51\ kNm}{183\ cm^3}$$

$$m_y = -0{,}52\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_z:

  En este caso, M_z =0 por lo que la tensión en la soldadura es:

$$m_{zh} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{H}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

$$m_{zv} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{B}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

Posteriormente, las distintas componentes se combinan vectorialmente de acuerdo con sus respectivas direcciones, distinguiendo entre aquellas contenidas en el plano de la unión y aquellas que actúan fuera de él.

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección del plano:

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(f_x + m_{z_h}\right)^2 + \left(f_y + m_{z_v}\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(-0{,}31\frac{kN}{mm} + 0\right)^2 + \left(0{,}01\frac{kN}{mm} + 0\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = 0{,}31\frac{kN}{mm}$$

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección fuera del plano:

$$f_{v_{trans}} = f_z + m_x + m_y$$

$$f_{v_{trans}} = 0 - 0{,}52\frac{kN}{mm} - 0{,}52\frac{kN}{mm}$$

$$f_{v_{ttrans}} = -1{,}04\frac{kN}{mm}$$

Finalmente, ambas componentes resultantes se combinan para determinar la máxima demanda por unidad de longitud actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{\left(f_{v_{long}}\right)^2 + \left(f_{v_{trans}}\right)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(0{,}31\frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(-1{,}04\frac{kN}{mm}\right)^2}$$

$$f_R = 1{,}08\frac{kN}{mm}$$

El valor resultante constituye la solicitación de diseño de la soldadura y se compara con su resistencia de diseño por unidad de longitud. La unión se considera verificada ya que $R_{dw} = 1{,}22\frac{kN}{mm} > f_R = 1{,}08\frac{kN}{mm}$.

En la Figura 51 se puede observar la geometría final de la unión entre módulos del último piso y de la vivienda, en donde confluyen dos columnas.

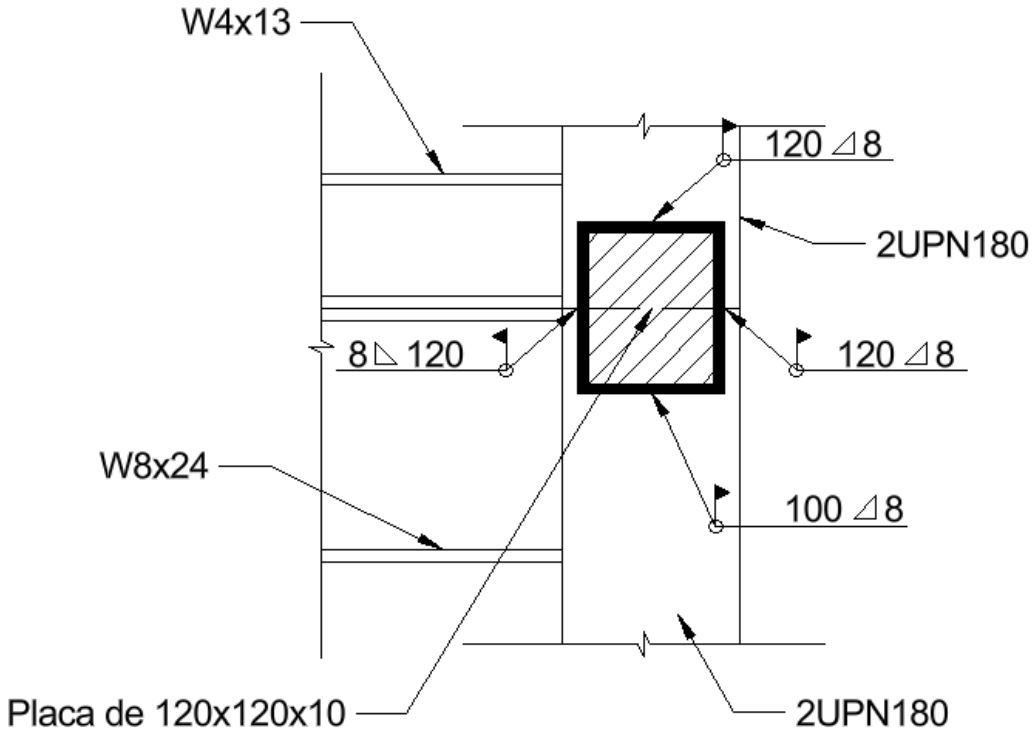


Figura 51. Geometría final de la unión entre columnas de esquina de módulos de distinto nivel.

10.7.2. UNIONES ENTRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE UN MISMO MÓDULO

En este apartado se presenta el diseño y la verificación de las uniones que conforman el sistema estructural propuesto. Para ello, se consideran las solicitaciones obtenidas del

análisis estructural y se dimensionan los distintos componentes de las conexiones de acuerdo con las disposiciones del Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios CIRSOC 301 (2018). En cada caso se verifican los estados límite correspondientes, garantizando la adecuada transmisión de esfuerzos entre los elementos estructurales.

Para la vinculación entre los elementos estructurales que conforman cada módulo se adoptan uniones soldadas. Esta elección se fundamenta principalmente en que la fabricación de los módulos se realiza en taller, donde es posible disponer de condiciones controladas para la ejecución de las soldaduras, tanto en lo referido a la preparación de las superficies y posicionamiento de los elementos como al procedimiento de soldado y al control de calidad de las uniones. Asimismo, dado que estas vinculaciones forman parte permanente de cada unidad modular y no requieren ser desmontadas durante las etapas posteriores de transporte y montaje, la utilización de soldaduras resulta adecuada para garantizar la continuidad y rigidez previstas en el modelo estructural.

10.7.2.1. UNIONES DE VIGAS A COLUMNAS

Las uniones entre las vigas principales y las columnas fueron concebidas como uniones rígidas, capaces de transmitir tanto esfuerzos cortantes como momentos flectores entre los elementos conectados.

En este apartado se presenta el procedimiento de diseño y verificación de la unión entre viga y columna, de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento CIRSOC 301 (2018).

La unión planteada se trata de una soldadura tipo filete en el contorno del perfil de la viga, para la cual se utiliza un cateto de lado $w = 6\,mm$ tanto en ala como en alma.

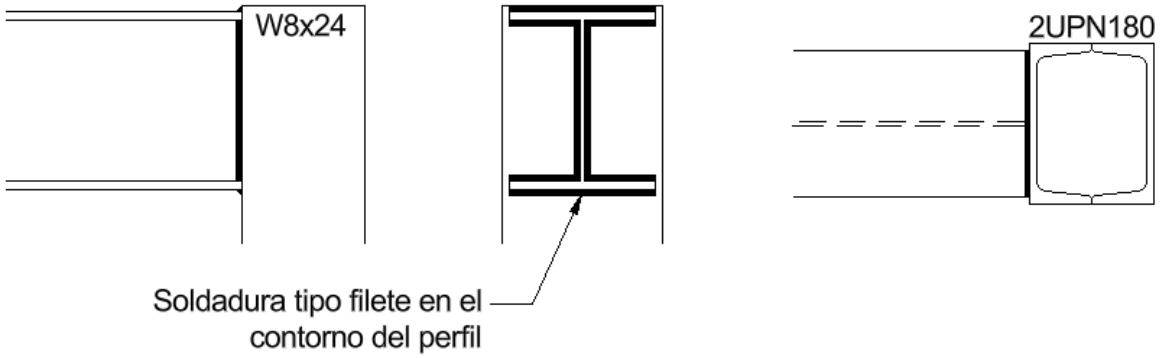


Figura 52. Esquema de la unión soldada propuesta entre vigas y columnas.

La capacidad resistente de la unión soldada se determina de manera independiente para los cordones dispuestos en las alas y en el alma de la viga, teniendo en cuenta la geometría y la longitud efectiva de soldadura correspondiente en cada caso.

En primer lugar, para los cordones de soldadura dispuestos en las alas, la resistencia de diseño se determina como:

$$R_{df} = \phi \times F_{nw} \times A_{wef}$$

$$R_{df} = 0{,}75 \times 288\ MPa \times 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$$

$$R_{df} = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $\phi = 0{,}75$: factor de resistencia;
- $F_{nw} = 0{,}6 \times F_{EEX} = 0{,}6 \times 480\ MPa = 288\ MPa$: tensión nominal de soldadura, donde $F_{EEX} = 480\ MPa$ es la resistencia del material de aporte de la soldadura;
- $A_{wef} = \frac{w_f}{\sqrt{2}} = \frac{6\ mm}{\sqrt{2}} = 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$: área de soldadura efectiva por unidad lineal de longitud de soldadura.

La capacidad resistente de la soldadura de alma se determina como:

$$R_{dw} = \phi \times F_{nw} \times A_{wew}$$

$$R_{dw} = 0{,}75 \times 288\ MPa \times 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$$

$$R_{dw} = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $\phi = 0{,}75$: factor de resistencia;
- $F_{nw} = 0{,}6 \times F_{EEX} = 0{,}6 \times 480\ PMa = 288\ MPa$: tensión nominal de soldadura, donde $F_{EEX} = 480\ MPa$ es la resistencia del material de aporte de la soldadura;
- $A_{wew} = \frac{w_w}{\sqrt{2}} = \frac{6\ mm}{\sqrt{2}} = 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$ es el área de soldadura efectiva por unidad lineal de longitud de soldadura.

El valor de resistencia de diseño que se adopta para las verificaciones es el menor de las dos resistencias calculadas. Al resultar ambas con el mismo cateto y material de aporte, poseen la misma resistencia:

$$R_d = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

A continuación, se determinan los esfuerzos actuantes sobre los cordones de soldadura asociados a cada componente de carga, analizando por separado la contribución correspondiente a las alas y al alma de la viga.

En el caso de las alas, la solicitación considerada corresponde al momento flector alrededor del eje X. Dicho momento genera un esfuerzo distribuido en los cordones de soldadura, cuyo valor por unidad de longitud se determina mediante la siguiente expresión:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{56{,}94\ kNm}{618{,}4\ cm^3}$$

$$m_x = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $M_x = 56{,}94\ kNm$: momento de la viga alrededor del eje x;
- $S_x = 618{,}4\ cm^3$: módulo elástico de la sección respecto al eje x.

Por lo tanto, la tensión resultante total de la soldadura del ala es:

$$f_{Rf} = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Por otro lado, en la tensión de soldadura debido a cada componente de carga para el alma solo interviene la carga de corte de la viga. El corte por milímetro debido a la carga es:

$$f_y = \frac{F_y}{2 \times (d - 2 \times t_f)}$$

$$f_y = \frac{66{,}98\ kN}{2 \times (201\ mm - 2 \times 10{,}2\ mm)}$$

$$f_y = 0{,}19\ \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $F_y = 66{,}98\ kN$: corte aplicado a la viga;
- El denominador $2 \times (d - 2 \times t_f)$ representa la longitud de los cordones verticales de soldadura, para el cual $d = 201\ mm$ es la altura de la viga y $t_f = 10{,}2\ mm$ es el espesor de las alas del perfil.

Por lo tanto, la tensión resultante total de la soldadura del alma es:

$$f_{Rw} = 0{,}19\ \frac{kN}{mm}$$

Para la verificación se considera:

- Alas: $R_{df} = 0{,}92 \frac{kN}{mm} = f_{Rf} = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$
- Alma: $R_{dw} = 0{,}92 \frac{kN}{mm} > f_{Rw} = 0{,}91 \frac{kN}{mm}$

Debido a que en ambos casos se cumple la condición, se concluye en que queda verificada la unión entre viga y columna.

En la Figura 53 se puede observar la geometría final adoptada para la unión soldada entre vigas y columnas. Cabe aclarar que, tal como se mencionó anteriormente, esta misma configuración de unión será materializada también en las vigas correspondientes al cordón inferior. Dado que estos elementos presentan solicitaciones considerablemente menores que las vigas del cordón superior, se considera que la unión queda verificada al dimensionarse para estas últimas. Esta diferencia en las solicitaciones se debe a que las vigas inferiores tienen como función principal aportar rigidez al módulo, mientras que las vigas superiores reciben y transmiten las cargas asociadas a los entrepisos, cubiertas y demás elementos vinculados a la estructura.

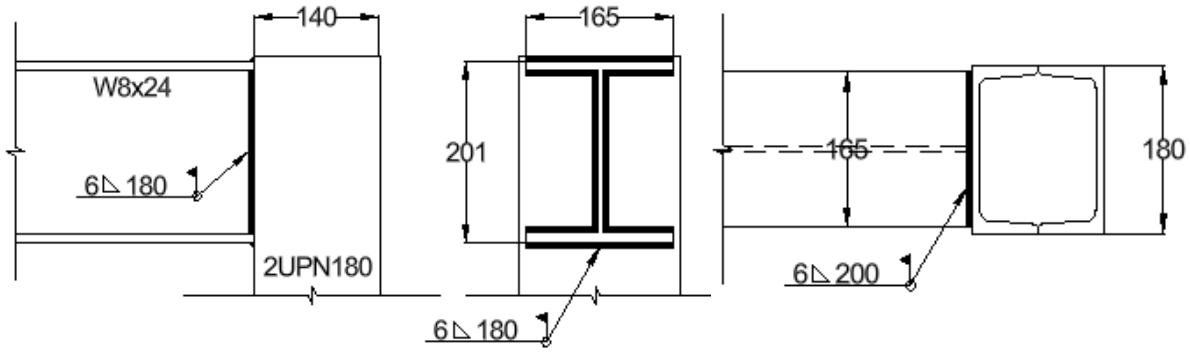


Figura 53. Geometría final adoptada para la unión soldada entre vigas y columnas.

10.7.3. PLACA BASE DE COLUMNAS

La placa base constituye el elemento de vinculación entre la columna y su apoyo, siendo la encargada de transmitir las solicitaciones provenientes de la estructura hacia la fundación. En este apartado se presenta el procedimiento de diseño y verificación de la placa base, de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento CIRSOC 301 (2018).

Las placas base se proyectan en acero A36, manteniendo las mismas propiedades mecánicas adoptadas para el diseño de los restantes elementos y uniones de la estructura. Por su parte, para el apoyo se considera un hormigón de resistencia H30, cuyas propiedades se emplean en las verificaciones correspondientes a la transmisión de esfuerzos entre la placa base y la fundación.

Es importante destacar que, para la estructura, se consideran dos tipologías de placa base. La primera corresponde a las columnas ubicadas en las esquinas de los módulos, mientras que la segunda está destinada a recibir dos columnas pertenecientes a módulos contiguos. Estas últimas se encuentran vinculadas estructuralmente mediante la placa soldada utilizada

para materializar la unión entre módulos, por lo que la placa base debe contemplar la disposición conjunta de ambas columnas.

10.7.3.1. Placa base de una columna

En la Figura 54 se puede observar a modo esquemático la disposición de los elementos de la placa base.

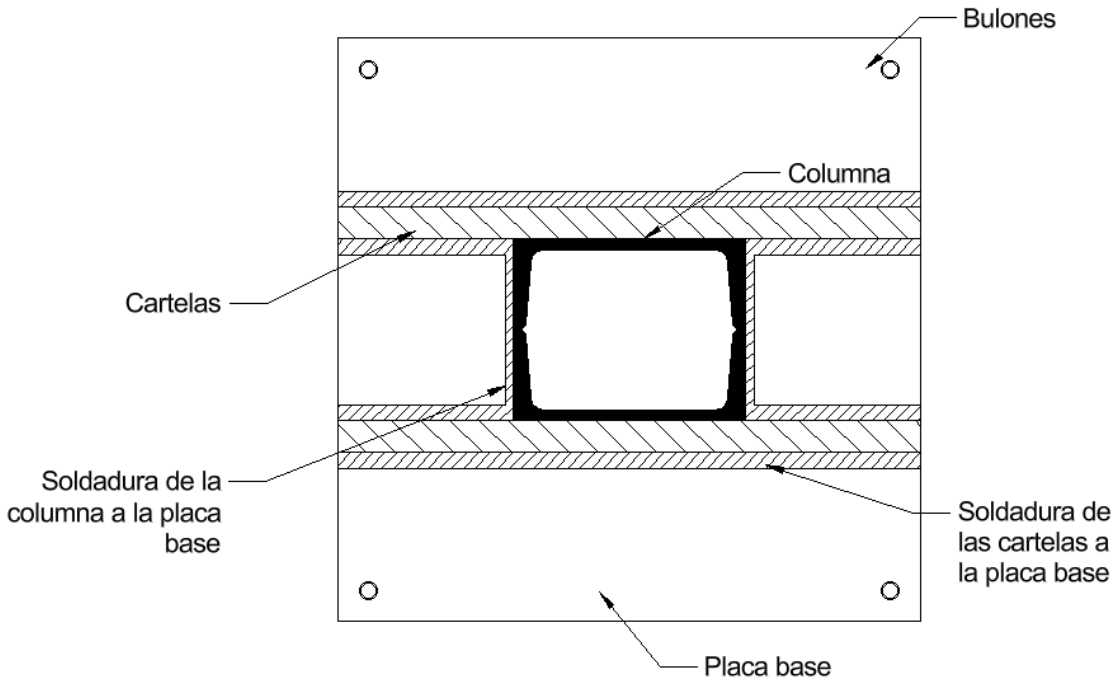


Figura 54. Esquema de placa base para una columna.

En primer lugar, se determina la excentricidad de la carga aplicada sobre la placa base, con el objetivo de identificar el régimen de trabajo de la conexión. Esta clasificación permite establecer si la placa se encuentra totalmente comprimida, parcialmente comprimida o sometida simultáneamente a esfuerzos de compresión y tracción.

La excentricidad se obtiene como:

$$e = \frac{M_f}{N_u}$$

$$e = \frac{11{,}65\ kNm}{154{,}35\ kN}$$

$$e = 75{,}48\ mm$$

Donde:

- $M_f = 11{,}65\ kNm$: momento flector aplicado en las columnas de esquina;
- $N_u = 154{,}35\ kN$: esfuerzo axil de compresión aplicado en las columnas de esquina.

A continuación, se adoptan de manera preliminar el largo de la placa base, procurando que permita alojar adecuadamente la sección de la columna y satisfaga los requerimientos constructivos. El mismo es $d = 450\ mm$.

Con el valor de excentricidad obtenido anteriormente y el largo adoptado, la placa base corresponde al Caso 2, presentado en la Figura 55, debido a que:

$$\left(\frac{1}{6} \times d\right) = 75\ mm < e = 134{,}68\ mm < \left(\frac{3}{8} \times d\right) = 168{,}75\ mm$$

Para este caso, la reacción del hormigón se desarrolla únicamente sobre una parte de la placa base, presentando una distribución triangular de tensiones de compresión. La longitud de la zona comprimida x queda determinada a partir de la condición de equilibrio, de manera que la resultante de las tensiones de contacto coincida con la recta de acción de la carga axial N_u.

Al no desarrollarse tensiones de tracción en la interfaz entre la placa base y el hormigón, los bulones de anclaje no intervienen en el equilibrio del momento generado por la excentricidad de la carga. No obstante, estos elementos deben verificarse frente al esfuerzo de corte transmitido por la columna.

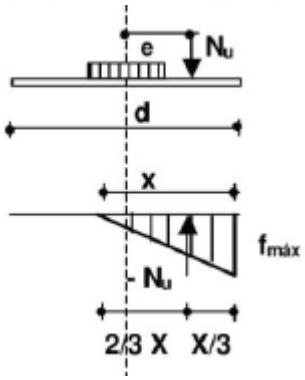


Figura 55. Excentricidad de la carga axil aplicada, caso 2.

Finalmente, en función de la tensión máxima de compresión transmitida al se determina el ancho necesario de la placa base. Partiendo de:

$$f_{máx} = f_c'$$

Donde $f_{máx}$ representa la tensión máxima de compresión sobre el hormigón y f_c corresponde a la tensión de diseño admisible del mismo.

La tensión máxima de compresión se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_{max} = \frac{20 \times N_u}{3 \times b \times \left(\frac{d}{2} - e\right)}$$

Donde:

- $f_{max} = f_c' = f_c \times 0{,}51 = 30\ MPa \times 0{,}51 = 15{,}3\ MPa$: para la cual f_c es la tensión de diseño admisible del hormigón dada por $f_c = f_c' \times 0{,}51$ con una resistencia especificada a compresión del hormigón de $f_c' = 30\ MPa$ en este caso.
- $N_u = 154{,}35\ kN$: esfuerzo de compresión aplicado sobre la placa base;
- $e = 75{,}48\ mm$: excentricidad de la carga;
- $d = 450\ mm$: largo de la placa;
- b: ancho de la placa;

De esta manera, despejando b de la expresión de f_{max} se obtiene:

$$b = \frac{20 \times N_u}{3 \times f_{max} \times \left(\frac{d}{2} - e\right)}$$

$$b = \frac{20 \times 154{,}35}{3 \times 15{,}3\ MPa \times \left(\frac{450\ mm}{2} - 75{,}48\ mm\right)}$$

$$b = 449{,}8\ mm$$

De esta manera, las dimensiones adoptadas para la placa base son:

- Ancho: $b = 450\ mm$;
- Largo: $d = 450\ mm$.

Una vez determinadas las dimensiones en planta de la plaza, se verificar el corte en los bulones.

Para resistir el esfuerzo de corte se dispone un total de cuatro bulones. De esta manera, el esfuerzo cortante transmitido a cada bulón se determina como:

$$V_i = \frac{V_u}{n_{bv}}$$

$$V_i = \frac{7{,}32\ kN}{4}$$

$$V_i = 1{,}83\ kN$$

Donde:

- $V_u = 7{,}32\ kN$: corte aplicado en la base de esquina;
- $n_{bv} = 4$: cantidad de bulones que resistirán los esfuerzos de corte.

Una vez determinada la fuerza de corte actuante sobre cada bulón, se procede a verificar su resistencia frente al estado límite de corte. Para ello, se compara la tensión de corte actuante con la tensión de diseño correspondiente.

La tensión de diseño al corte del bulón se determina mediante:

$$f_d = \phi \times F_{nv}$$

Donde el factor de resistencia es $\phi = 0{,}75$ y la resistencia a corte del bulón es $F_{nv} = 384\ MPa$.

$$f_d = 0{,}75 \times 384\ MPa$$

$$f_d = 288\ MPa$$

Por otra parte, la tensión de corte actuante en cada bulón resulta:

$$f_v = \frac{V_i}{A_b}$$

$$f_v = \frac{1{,}83\ kN}{1{,}13\ cm^2}$$

$$f_v = 16{,}18\ MPa$$

Donde $V_i = 1{,}83\ kN$ es el esfuerzo cortante transmitido por cada bulón y $A_b = \frac{\pi \times d_b^2}{4} = 1{,}13\ cm^2$ es el área de los bulones de 12 mm de diámetro.

Dado que $f_d = 288\ MPa > f_v = 16{,}18\ MPa$, el estado límite de corte en los bulones queda verificado.

Verificación del espesor de la placa base

Para ello, es necesario conocer el momento nominal máximo en la placa. Este momento nominal es:

$$M_{np} = 31{,}35\ kNm$$

En la Figura 56 se puede observar una carga distribuida que representa la reacción del hormigón sobre la placa base. Esta carga tiene un valor de $q = 3440{,}96\ kN/m$, que surge de $q = f_{max} \times \frac{b}{2}$. A su vez, las cargas de $774{,}16\ kN$ y $774{,}24\ kN$ son las reacciones en las cartelas.

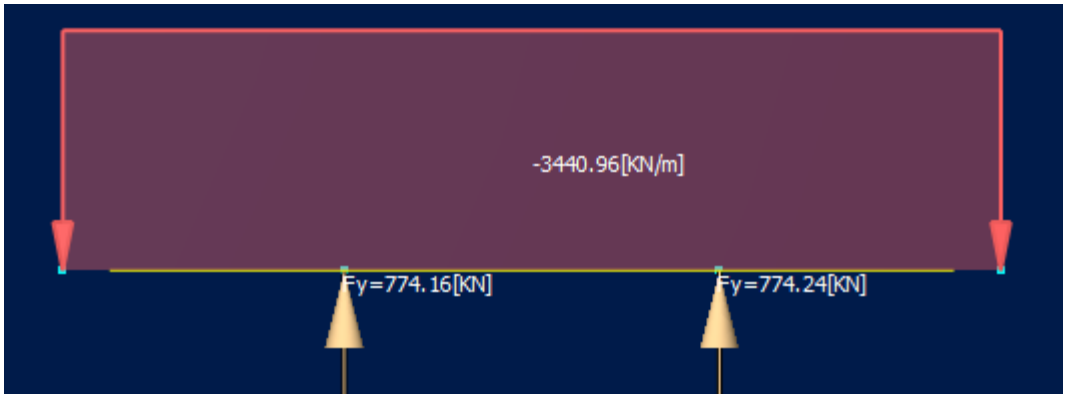


Figura 56. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base.

Mientras que, en la Figura 57, se observa el diagrama de momentos flectores producto de dichas cargas actuantes en la placa.



Figura 57. Diagrama de momentos flectores en la placa base.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene un momento de:

$$M_{up} = \phi \times M_{np}$$

$$M_{up} = 0{,}90 \times 31{,}35\ kNm$$

$$M_{up} = 28{,}22\ kNm$$

Con este momento, se determina el espesor de la placa, tal que:

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times M_{up}}{0{,}90 \times F_y}}$$

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times 28{,}22\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}}$$

$$t_{p_{nec}} = 27{,}43\ mm$$

De este modo, el espesor adoptado de placa base es $t_p = 27{,}43\ mm = 1{,}08\ in$ por lo que se adoptan placas comerciales de $1\ 1/8''$.

Una vez definido el espesor de la placa, se deberán dimensionar y verificar a flexión y corte las cartelas.

Para el dimensionado, se requiere conocer el módulo elástico necesario de las mismas, S_{nec}, se utiliza la siguiente expresión:

$$S_{nec} = \frac{M_n}{\phi \times F_y}$$

$$S_{nec} = \frac{41{,}43\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}$$

$$S_{nec} = 184{,}13\ cm^3$$

En donde:

- $M_n = 41{,}43\ kNm$: se obtiene entre el máximo momento nominal en la placa base en la parte de la cartela, donde la distancia $x = 3 \times \left(\frac{d}{2} - e\right) = 3 \times \left(\frac{450\ mm}{2} - 75{,}48\right) = 448{,}57\ mm$ es la longitud de la carga distribuida correspondiente a $f_{max} = 15{,}3\ MPa$ y el ancho de la misma es $\frac{b}{2} = \frac{450\ mm}{2} = 225\ mm$. De esta manera, se tienen actuando sobre la placa una carga triangular en una distancia $645{,}97\ mm$ de $q = 3440{,}96\ MPa$.

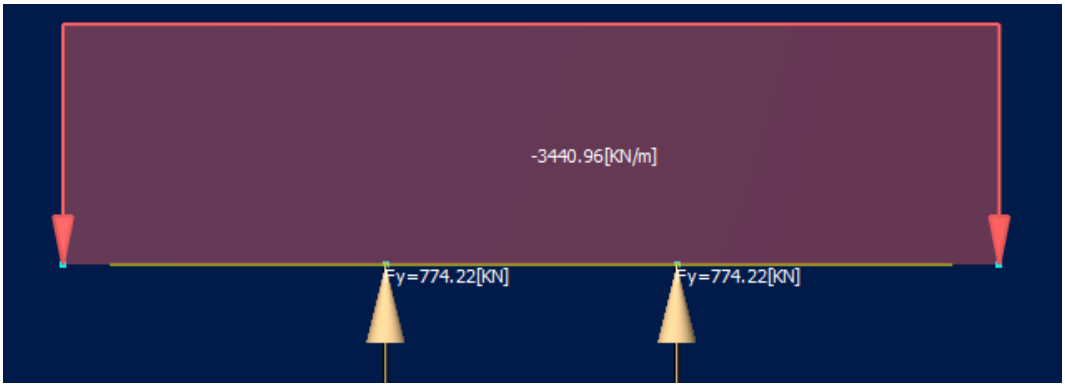


Figura 58. Esquema de cargas en la placa base para analizar la cartela.

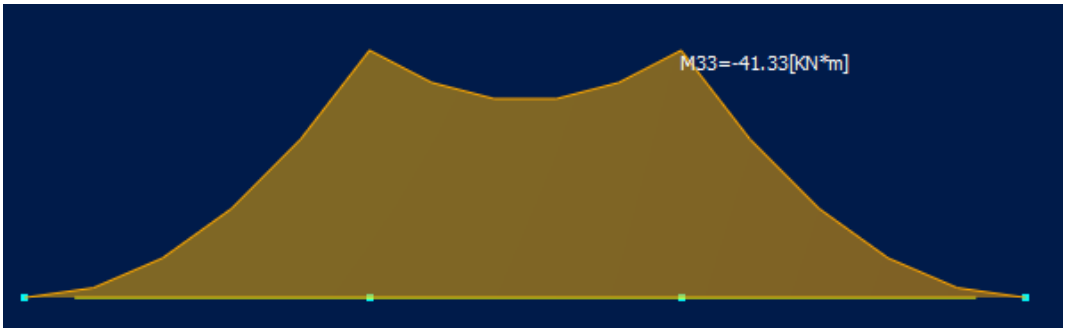


Figura 59. Momento nominal en la placa base para analizar la cartela.

- $\phi = 0{,}90$: factor de resistencia.
- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del material de la placa.

Proponiendo una altura de cartela de $h = 30\ cm$, se despeja el espesor requerido de la misma:

$$S = \frac{e_c \times h_c^2}{6}$$

$$e_c = \frac{6 \times S}{h_c^2}$$

$$e_c = \frac{6 \times 184{,}13\ cm^3}{(30\ cm)^2}$$

$$e_c = 12{,}28\ mm$$

A pesar de que por rigidez flexional se requiere un espesor de cartela $e_c = 12{,}28\ mm$, se adopta un espesor de $e_{adop} = 25\ mm$, debido que con espesores menores no verifican los estados límite de la misma. Comercialmente, la placa de espesor de $25\ mm$ se corresponde con una de 1".

Las dimensiones finales adoptadas son:

- Altura: $h_c = 350\ mm$;
- Espesor: $e_c = 25\ mm$.

Verificación de las cartelas

Los estados límite a verificar en este caso son: plastificación, pandeo lateral torsional, y corte.

En primer lugar, se determina la clasificación de la sección transversal, la cual depende de la relación ancho–espesor.

La cartela constituye un elemento no rigidizado, cuya relación de esbeltez se determina mediante:

$$\lambda = \frac{h_c}{e_c}$$

$$\lambda = \frac{35\ cm}{2{,}5\ cm}$$

$$\lambda = 14$$

La esbeltez límite λ_p viene dada por:

$$\lambda_p = \frac{375}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{375}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 23{,}72$$

Al verificarse que $\lambda < \lambda_p$ se concluye que las cartelas son elementos compactos.

Plastificación

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_{recalculado} = \frac{e_c \times h_c^2}{6} = 510{,}42\ cm^3$
- Momento elástico: $M_y = S_x \times F_y = 510{,}42\ cm^3 \times 250\ MPa = 127{,}6\ kNm$

- Momento plástico: $M_p = Z_x \times F_y$. En el caso de bases de columnas, no aplica el uso de Z_x, por lo que $M_p = M_y$.

De este modo, el momento nominal para el estado límite de plastificación es:

$$M_p = 127{,}6\ kNm$$

Pandeo lateral torsional

Se analizan los tramos 1 y 2 de manera independiente, y se adopta aquel con menor resistencia. El tramo 1 es el que se encuentra entre el centro de la placa y el máximo momento en la cartela. El tramo 2 es el comprendido entre el máximo momento en la cartela y el borde de la placa.

- Longitud lateralmente no arriostrada: Se determinan los valores de las longitudes de los tramos L_{b1} y L_{b2}. En donde L_{b1} se determina como:

$$L_{b1} = 30\ cm$$

Y L_{b2} corresponde a la distancia entre el ala del perfil y el borde de la placa base:

$$L_{b2} = 15{,}5\ cm$$

Es decir, en el caso del tramo 1, se obtiene:

$$\frac{16000}{F_y} \leq \frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2} \leq \frac{380000}{F_y}$$

$$64 \leq \frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2} \leq 1520$$

$$\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c} = \frac{30\ cm \times 35\ cm}{(2{,}5\ cm)^2} = 168$$

Al obtenerse un valor comprendido entre los límites de la expresión, se debe determinar el momento nominal por pandeo lateral torsional para el tramo 1 con la siguiente expresión:

$$M_{npl1} = C_b \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2}\right) \times \frac{F_y}{E}\right] \times M_y$$

$$M_{npl1} = 1 \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{30\ cm \times 35\ cm}{(2{,}5\ cm)^2}\right) \times \frac{250\ MPa}{200000 MPa}\right] \times 127{,}6\ kNm$$

$$M_{npl1} = 186{,}62\ kNm$$

Es decir, en el tramo 1 gobierna la plastificación ya que $M_p = 127{,}6\ kNm < M_{npl1} = 186{,}62\ kNm$ y, por lo tanto:

$$M_{n1} = 186{,}62\ kNm$$

En cuanto al tramo 2:

$$\frac{16000}{F_y} \leq \frac{L_{b2} \times h_c}{e_c^2} \leq \frac{380000}{F_y}$$

$$64 \leq \frac{L_{b2} \times h_c}{e_c^2} \leq 1520$$

$$\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c} = \frac{15{,}5\ cm \times 35\ cm}{(2{,}5\ cm)^2} = 145{,}6$$

Al igual que el tramo 1, nos encontramos entre los límites de la desigualdad, por lo que el momento nominal para pandeo lateral torsional del tramo 2 se determina como:

$$M_{npl2} = C_b \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2}\right) \times \frac{F_y}{E}\right] \times M_y$$

$$M_{npl2} = 1 \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{15{,}5\ cm \times 35\ cm}{(2{,}5\ cm)^2}\right) \times \frac{250\ MPa}{200000 MPa}\right] \times 127{,}6\ kNm$$

$$M_{npl2} = 187{,}6\ kNm$$

Aquí también gobierna la plastificación debido a que $M_p = 127{,}6\ kNm < M_{npl2} = 187{,}6\ kNm$ y, por lo tanto:

$$M_{n2} = 127{,}6\ kNm$$

De este modo, gobierna la plastificación en ambos tramos y el momento nominal de la cartela es:

$$M_n = 127{,}6\ kNm$$

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene finalmente la resistencia de diseño:

$$M_d = \phi \times M_n$$

$$M_d = 0{,}90 \times 127{,}6\ kNm$$

$$M_d = 114{,}84\ kNm$$

Comparando el valor de la resistencia de diseño con el momento solicitante:

$$M_d = 114{,}84\ kNm > M_u = 41{,}33\ kNm$$

De este modo, queda verificada la resistencia a flexión de las cartelas.

Corte

El análisis del corte en secciones rectangulares macizas se obtiene por la fórmula de Jouraski:

$$\tau = \frac{V_u \times S_x}{e_c \times I_x}$$

$$\tau = \frac{533{,}31\ kN \times 510{,}42\ cm^3}{2{,}5\ cm \times 8932{,}29\ cm^4}$$

$$\tau = 121{,}9\ MPa$$

Donde:

- $V_u = 533{,}31\ kN$: esfuerzo de corte actuante en la cartela;

- $S_x = 510{,}42\ cm^3$: módulo elástico de la cartela;
- $e_C = 2{,}5\ cm$: espesor de la cartela;
- $I_x = 8932{,}29\ cm^4$: momento de inercia de la cartela con respecto a su eje fuerte.

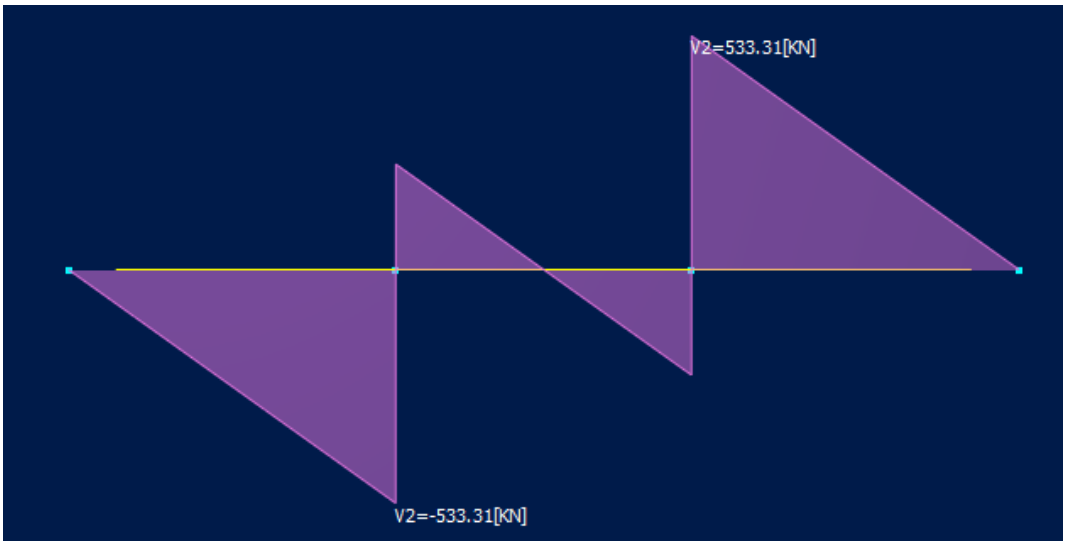


Figura 60. Esfuerzo de corte actuante en la cartela.

Esta tensión de corte τ debe cumplir que:

$$\tau \leq 0{,}6 \times \phi \times F_y$$

$$\tau \leq 0{,}6 \times 0{,}9 \times 250\ MPa$$

$$\tau \leq 135\ MPa$$

Al resultar $\tau = 121{,}9\ MPa < 135\ MPa$, queda verificado el corte en las cartelas.

Soldadura de la cartela

- Cordones verticales:

El número de cordones verticales proyectado es $n_c = 4$. En base a ellos, se sabe que la compresión será resistida por la totalidad de los mismos, mientras que la flexión solo por aquellos cordones de la zona traccionada, es decir, por $n_t = 2$. Es por eso que:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n_c} + \frac{M_u}{(d - h') \times n_t}$$

$$P_{u1} = \frac{154{,}35\ kN}{4} + \frac{11{,}65\ kNm}{(45\ cm - 2{,}4\ cm) \times 2}$$

$$P_{u1} = 87{,}21\ kN$$

Por otro lado, el corte se distribuye por igual en los cuatro cordones:

$$V_{u1} = \frac{V_{uc}}{n_c}$$

$$V_{u1} = \frac{533{,}31\ kN}{4}$$

$$V_{u1} = 133{,}32\ kN$$

Al componer ambos esfuerzos se obtiene:

$$F_u = \sqrt{P_{u1}^2 + V_{u1}^2}$$

$$F_u = \sqrt{(87{,}21\ kN)^2 + (133{,}32\ kN)^2}$$

$$F_u = 159{,}32\ kN$$

La resistencia de diseño de la soldadura viene dada por:

$$R_d = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times 0{,}707 \times w$$

$$R_d = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times 0{,}707 \times 0{,}8\ cm$$

$$R_d = 9{,}73\ \frac{kN}{cm}$$

Donde:

- $F_{EEX} = 480\ MPa$: resistencia del material del material de aporte de la soldadura;
- $w = 8\ mm$: cateto adoptado, siendo el mínimo requerido en función del espesor del elemento más grueso, en este caso la cartela, cuyo $e_c = 25\ mm$.

Conociendo la resistencia requerida y la resistencia de diseño, es posible determinar la longitud de los cordones:

$$L_{cv} = \frac{F_u}{R_d}$$

$$L_{cv} = \frac{159{,}32\ kN}{9{,}73\ \frac{kN}{cm}}$$

$$L_{cv} = 16{,}3\ cm$$

Como la longitud del cordón de soldadura es menor que la altura de la cartela $h_c = 35\ cm$, queda verificado el cordón lateral.

- Cordones horizontales:

En la placa se tienen $n_c = 4$ cordones que resisten, uno a cada lado de la cartela, desde las alas de la columna hacia afuera.

De esta forma, la compresión sobre cada cordón será:

$$N_{u1} = \frac{f_{max} \times b \times x}{n_c}$$

$$N_{u1} = \frac{15{,}3\ MPa \times 45\ cm \times 44{,}8\ cm}{4}$$

$$N_{u1} = 385{,}88\ kN$$

La resistencia de diseño a la compresión de la misma es:

$$R_{dc} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times (0{,}707 \times L_{trans})$$

$$R_{dc} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times (0{,}707 \times 27\ cm)$$

$$R_{dc} = 329{,}86\ \frac{kN}{cm}$$

Donde:

- $L_{trans} = d - d_{columna} = 45\ cm - 18\ cm = 27\ cm$ es la longitud del cordón de la soldadura.

Finalmente, el ancho de cateto se determina como:

$$w_{nec_c} = \frac{N_u}{R_{dc}}$$

$$w_{nec_c} = \frac{385{,}88\ kN}{329{,}86\frac{kN}{cm}}$$

$$w_{nec_c} = 11{,}7\ mm$$

En la zona de corte, vamos a tener que resisten $n_v = 2$ cordones. El corte en cada cordón será:

$$V_{u1} = \frac{V_u}{n_v}$$

$$V_{u1} = \frac{7{,}32\ kN}{2}$$

$$V_{u1} = 3{,}66\ kN$$

La resistencia de diseño al corte de la misma es:

$$R_{dv} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times (0{,}707 \times L_{trans_v})$$

$$R_{dv} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times (0{,}707 \times 45\ cm)$$

$$R_{dv} = 549{,}76\ \frac{kN}{cm}$$

Finalmente, el cateto de soldadura para corte es:

$$w_{nec_v} = \frac{V_{u1}}{R_{dv}}$$

$$w_{nec_v} = \frac{3{,}66\ kN}{549{,}76\frac{kN}{cm}}$$

$$w_{nec_v} = 0{,}06\ mm$$

De esta forma, se adopta como cateto de soldadura horizontal al mayor valor obtenido entre las tres zonas analizadas, es decir:

$$w_h = \max(w_{nec_c}; w_{nec_v})$$
$$w_h = max(11{,}7\ mm; 0{,}06\ mm)$$
$$w_h = 12\ mm$$

Soldadura columna – placa

La unión soldada entre la columna y la placa base debe ser capaz de transmitir las solicitaciones de esfuerzo axial, corte y momento flector provenientes de la estructura hacia la fundación.

Para esta unión se adoptó una soldadura de filete continua, siguiendo todo el contorno del perfil, con un cateto uniforme de $w = 6\ mm$.

La resistencia nominal al corte de la soldadura por unidad de longitud se determina mediante:

$$R_n = F_n \times A_w$$
$$R_n = 288\ MPa \times 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$$
$$R_n = 1{,}22 \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $F_{nw} = 288\ MPa$: tensión nominal de la soldadura del alma;
- $A_w = \frac{w_w}{\sqrt{2}} = \frac{6\ mm}{\sqrt{2}} = 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$: área efectiva de la soldadura del alma por unidad de longitud, para un cateto de $w = 6\ mm$.

La resistencia de diseño resulta:

$$R_d = \phi \times R_n$$
$$R_d = 0{,}75 \times 1{,}22 \frac{kN}{mm}$$
$$R_d = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Donde $\phi = 0{,}75$ es el factor de resistencia.

Posteriormente, se determinan las tensiones actuantes en la soldadura. Para ello, se determinan en primer lugar las siguientes propiedades:

- Longitud de soldadura:

$$l = 2 \times (B + H)$$
$$l = 2 \times (140\ mm + 180\ mm)$$
$$l = 640\ mm$$

- Módulo elástico alrededor del eje fuerte de la viga (x):

$$S_x = B \times H + \frac{H^2}{3}$$

$$S_x = 14\ cm \times 18\ cm + \frac{(18\ cm)^2}{3}$$

$$S_x = 360\ cm^3$$

- Modulo elástico alrededor del eje débil de la viga (z):

$$S_z = H \times B + \frac{B^2}{3}$$

$$S_z = 18\ cm \times 14\ cm + \frac{(14\ cm)^2}{3}$$

$$S_z = 317\ cm^3$$

- Constante torsional de la soldadura:

$$J_w = \frac{(B+H)^3}{6}$$

$$J_w = \frac{(14\ cm + 18\ cm)^3}{6}$$

$$J_w = 5416\ cm^4$$

Las cargas aplicadas en la soldadura son:

- Compresión axil: $N_u = -154{,}35\ kN$;
- Flexión alrededor del eje fuerte: $M_{ux} = 11{,}65\ kNm$;
- Flexión alrededor del eje débil: $M_{uz} = -9{,}5\ kNm$;
- Corte: $V_u = 7{,}32\ kN$.

Teniendo en cuenta dichas solicitaciones, se determina la tensión en la soldadura debido a cada una de ellas:

- Corte por mm debido a la carga F_x:

  En este caso, la carga $F_x = 0$. De esta forma, la tensión en la soldadura es:

$$f_x = \frac{F_x}{l}$$

$$f_x = 0$$

- Corte por mm debido a la carga F_y:

  En este caso, la carga F_y es el corte al que se solicita la soldadura, es decir, $F_y = V_u = 7{,}32\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido al corte es:

$$f_y = \frac{F_y}{l}$$

$$f_y = \frac{7{,}32\ kN}{640\ mm}$$

$$f_y = 0{,}01\ \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_z:

  En este caso, la carga F_z es la compresión en la columna, es decir, $F_z = N_u = -154{,}35\ kN$. De este modo, la tensión en la soldadura debido a la compresión resulta:

$$f_z = \frac{F_z}{l}$$

$$f_z = \frac{-154{,}35\ kn}{640\ mm}$$

$$f_z = -0{,}24$$

- Corte por mm debido a M_x:

  En este caso, M_x es la flexión alrededor del eje fuerte, es decir, $M_x = M_{ux} = 11{,}65\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje fuerte es:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{11{,}65\ kNm}{360\ cm^3}$$

$$m_x = 0{,}32\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_y:

  En este caso, M_y es la flexión alrededor del eje débil, es decir, $M_y = M_{uz} = -9{,}5\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje débil es:

$$m_y = \frac{M_y}{S_z}$$

$$m_y = \frac{-9{,}5\ kNm}{317\ cm^3}$$

$$m_y = -0{,}3\frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_z:

  En este caso, M_z =0 por lo que la tensión en la soldadura es:

$$m_{zh} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{H}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

$$m_{zv} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{B}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

Posteriormente, las distintas componentes se combinan vectorialmente de acuerdo con sus respectivas direcciones, distinguiendo entre aquellas contenidas en el plano de la unión y aquellas que actúan fuera de él.

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección del plano:

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(f_x + m_{z_h}\right)^2 + \left(f_y + m_{z_v}\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = \sqrt{(0+0)^2 + \left(0{,}01\frac{kN}{mm} + 0\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = 0{,}01\frac{kN}{mm}$$

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección fuera del plano:

$$f_{v_{trans}} = f_z + m_x + m_y$$

$$f_{v_{trans}} = -0{,}24\frac{kN}{mm} + 0{,}32\frac{kN}{mm} - 0{,}3\frac{kN}{mm}$$

$$f_{v_{ttrans}} = 0{,}22\frac{kN}{mm}$$

Finalmente, ambas componentes resultantes se combinan para determinar la máxima demanda por unidad de longitud actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{\left(f_{v_{long}}\right)^2 + \left(f_{v_{trans}}\right)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(0{,}01\frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(0{,}22\frac{kN}{mm}\right)^2}$$

$$f_R = 0{,}22\frac{kN}{mm}$$

El valor resultante constituye la solicitación de diseño de la soldadura y se compara con su resistencia de diseño por unidad de longitud. La unión se considera verificada ya que:

$$R_{dw} = 0{,}92\frac{kN}{mm} > f_R = 0{,}22\frac{kN}{mm}$$

Verificación del espesor de la placa base para el momento en el eje débil (z)

Es importante destacar que se debe verificar que el espesor de la placa base sea suficiente para soportar el estado tensional de la misma en ambas direcciones de acción de la carga. Es por ello que, considerando el momento flector alrededor del eje débil $M_{uz} = 9{,}5\ kNm$, se procede a realizar la verificación.

En primer lugar, es necesario conocer el momento nominal máximo en la placa. Este momento nominal es:

$$M_{np} = 2{,}59\ kNm$$

En la Figura 61 se puede observar una carga distribuida que representa la reacción del hormigón sobre la placa base. Esta carga tiene un valor de $q_{max} = 312{,}24\ kN/m$, que surge de $q_{min} = 30{,}76\ kN/m$. A su vez, las cargas de $12{,}2\ kN$ y $64{,}98\ kN$ son las reacciones en las alas de la sección 2UPN180.

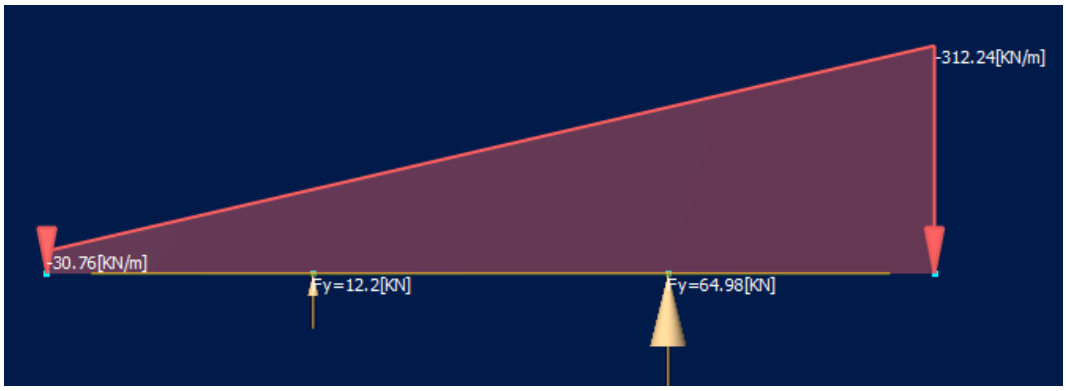


Figura 61. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base.

Mientras que, en la Figura 62, se observa el diagrama de momentos flectores producto de dichas cargas actuantes en la placa.

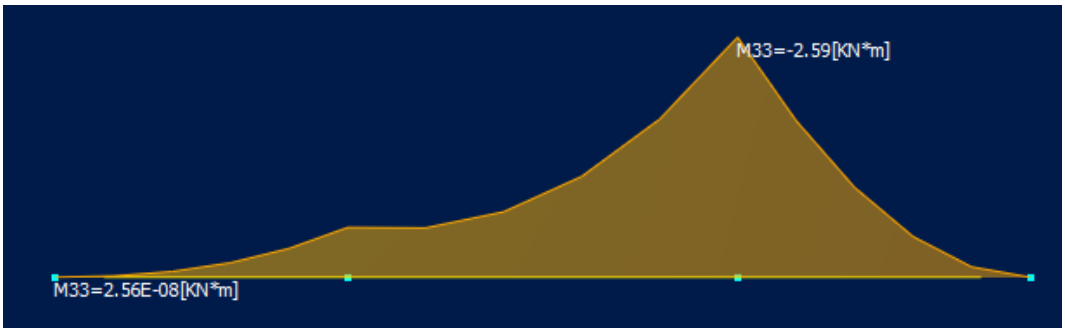


Figura 62. Diagrama de momentos flectores en la placa base.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene un momento de:

$$M_{up} = \phi \times M_{np}$$

$$M_{up} = 0{,}90 \times 2{,}59\ kNm$$

$$M_{up} = 2{,}33\ kNm$$

Con este momento, se determina el espesor de la placa, tal que:

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times M_{up}}{0{,}90 \times F_y}}$$

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times 2{,}33\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}}$$

$$t_{p_{nec}} = 7{,}88\ mm$$

De este modo, el espesor adoptado de placa base $t_p = 28\ m$ resulta mayor que el requerido en la dirección Z, es decir, que no se requieren cartelas adicionales.

Aplastamiento de los agujeros de los bulones

Se procede a verificar la resistencia al aplastamiento del material en los agujeros correspondientes a los bulones de la placa base, con el objetivo de asegurar que las tensiones de contacto generadas por la transmisión de esfuerzos no superen la capacidad resistente del acero.

La resistencia nominal al aplastamiento se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_n = (2{,}4 \times d_b \times t \times F_u)$$

$$R_n = 2{,}4 \times 12\ mm \times 28\ mm \times 360\ MPa$$

$$R_n = 284{,}39\ \ kN$$

Donde:

- $d_b = 12\ mm$: diámetro nominal del bulón;
- $t = 28\ mm$: espesor de la placa base;
- $F_u = 360\ MPa$: tensión última del acero de la placa;

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}75 \times 284{,}39\ kN$$

$$R_d = 213{,}3\ kN$$

La resistencia obtenida se compara con el esfuerzo de corte total transmitido por la placa base. Los resultados indican que la capacidad resistente disponible es suficiente para resistir las solicitaciones actuantes, $R_d = 213{,}3\ kN > V_u = 7{,}32\ kN$, por lo que la verificación correspondiente al estado límite de aplastamiento de los agujeros resulta satisfactoria.

Desgarramiento de los agujeros de los bulones

Este mecanismo de falla corresponde a la posible rotura del material comprendido entre el borde del agujero y el borde libre de la placa como consecuencia de los esfuerzos transmitidos por los bulones.

La resistencia nominal se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_n = 1{,}2 \times l_c \times t \times F_u$$

$$R_n = 1{,}2 \times 24\,mm \times 28\,mm \times 360\,MPa$$

$$R_n = 284{,}39\ \ kN$$

Donde $l_c = 24\,mm$ es la distancia libre entre el borde del agujero y el borde libre de la placa, $t = 28\,mm$ es el espesor de la placa base y $F_u = 360\,MPa$ es la tensión última del material de la misma.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}75 \times 284{,}39\,kN$$

$$R_d = 213{,}3\ \ kN$$

La resistencia de diseño obtenida se compara con la fuerza transmitida por cada bulón. La comparación entre ambos valores $R_d = 213{,}3\,kN > V_u = 7{,}32\,kN$ indica que la placa base posee capacidad suficiente para resistir este estado límite, por lo que la verificación resulta satisfactoria.

Geometría final adoptada

De este modo, queda verificada la placa base y en la Figura 63 se presentan sus dimensiones finales.

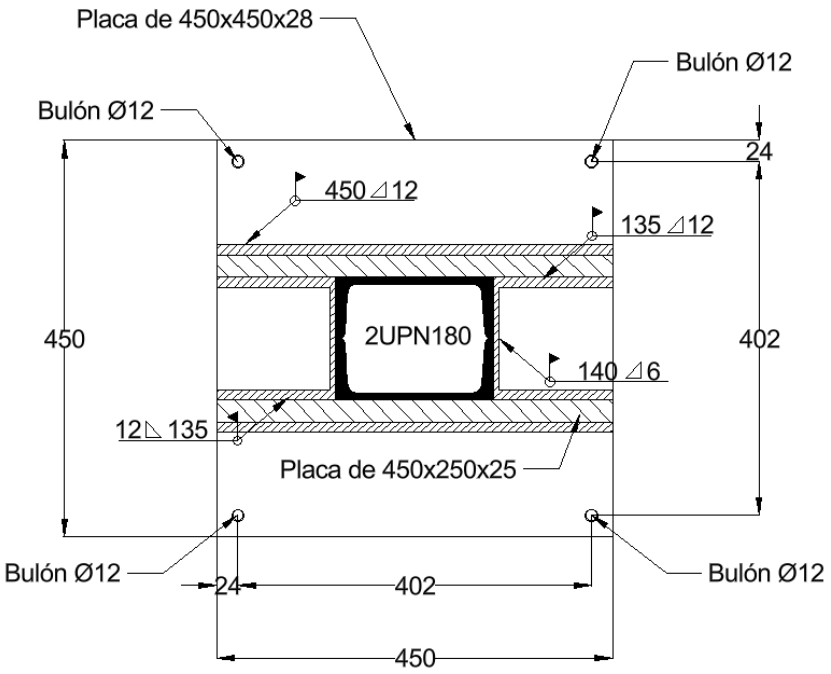


Figura 63. Dimensiones finales adoptadas para la placa base de las columnas.

10.7.3.2. Placa base para dos columnas

Esta base está destinada a alojar dos columnas de módulos contiguos. En la Figura 64 se pueden observar, de modo esquemático, los elementos que la componen.

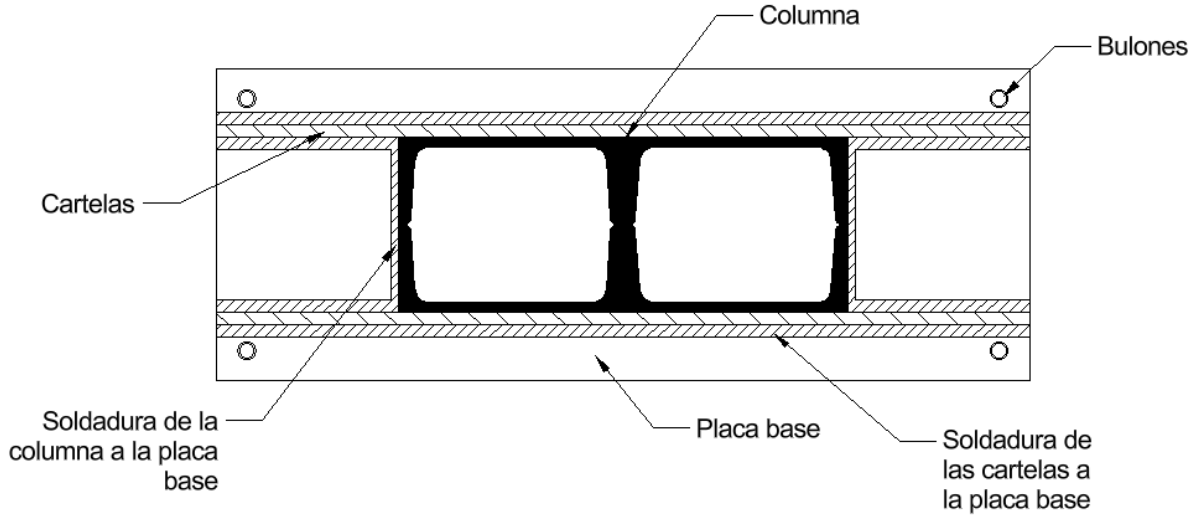


Figura 64. Esquema de placa base para dos columnas de módulos contiguos.

En primer lugar, se determina la excentricidad de la carga aplicada sobre la placa base, con el objetivo de identificar el régimen de trabajo de la conexión. Esta clasificación permite

establecer si la placa se encuentra totalmente comprimida, parcialmente comprimida o sometida simultáneamente a esfuerzos de compresión y tracción.

La excentricidad se obtiene como:

$$e = \frac{M_f}{N_u}$$

$$e = \frac{31{,}73\ kNm}{300{,}18\ kN}$$

$$e = 105{,}7\ mm$$

Donde:

- $M_f = 31{,}73\ kNm$: momento flector aplicado.
- $N_u = 300{,}18\ kN$: esfuerzo axil de compresión aplicado.

A continuación, se adoptan de manera preliminar el largo de la placa base, procurando que permita alojar adecuadamente la sección de la columna y satisfaga los requerimientos constructivos. El mismo es $d = 650\ mm$.

Con el valor de excentricidad obtenido anteriormente y el largo adoptado, la placa base corresponde al Caso 1, presentado en la Figura 65, debido a que:

$$e = 105{,}7\ mm < \left(\frac{1}{6} \times d\right) = 108{,}33\ mm$$

Para este caso, la superficie de apoyo de la placa base se encuentra totalmente comprimida, presentando una distribución trapezoidal de tensiones de compresión, cuyos valores máximo y mínimo se desarrollan en los bordes opuestos de la placa.

Debido a que la excentricidad de la carga resulta inferior a $\frac{d}{6}$, la resultante se encuentra dentro del núcleo central de la base, por lo que no se desarrollan tensiones de tracción en la interfaz entre la placa base y el hormigón. En consecuencia, los bulones de anclaje no intervienen en el equilibrio del momento generado por la excentricidad de la carga. No obstante, estos elementos deben verificarse frente al esfuerzo de corte transmitido por la columna.

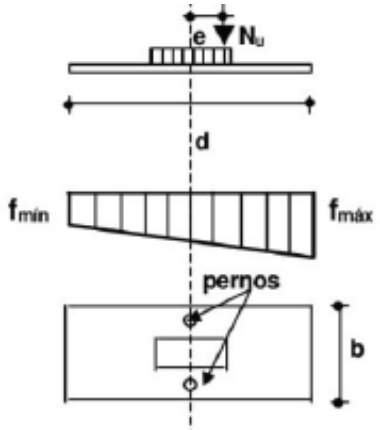


Figura 65. Excentricidad de la carga axil aplicada, caso 1.

Finalmente, en función de la tensión máxima de compresión transmitida al se determina el ancho necesario de la placa base. Partiendo de:

$$f_{máx} = f_c'$$

Donde $f_{máx}$ representa la tensión máxima de compresión sobre el hormigón y f_c corresponde a la tensión de diseño admisible del mismo.

La tensión máxima de compresión se determina mediante la siguiente expresión:

$$f_{max} = \frac{N_u}{b \times d} + \frac{6 \times M_u}{b \times d^2}$$

Donde:

- $f_{max} = f_c' = f_c \times 0{,}51 = 30\ MPa \times 0{,}51 = 15{,}3\ MPa$: para la cual f_c es la tensión de diseño admisible del hormigón dada por $f_c = f_c' \times 0{,}51$ con una resistencia especificada a compresión del hormigón de $f_c' = 30\ MPa$ en este caso.
- $N_u = 300{,}18\ kN$: esfuerzo de compresión aplicado sobre la placa base;
- $M_u = 31{,}73\ kNm$: momento flector aplicado;
- $d = 650\ mm$: largo de la placa;
- b: ancho de la placa;

De esta manera, despejando b de la expresión de f_{max} se obtiene:

$$b = \frac{1}{f_{max}} \times \left(\frac{N_u}{d} + \frac{6 \times M_u}{d^2}\right)$$

$$b = \frac{1}{15{,}3\ MPa} \times \left(\frac{300{,}18\ kN}{650\ mm} + \frac{6 \times 31{,}73\ kNm}{(650\ mm)^2}\right)$$

$$b = 59{,}64\ mm$$

Al resultar este ancho necesario menor que el ancho de la columna, se adopta uno mayor resultando las dimensiones adoptadas para la placa base:

- Ancho: $b = 250\ mm$;
- Largo: $d = 650\ mm$.

De esta forma, las tensiones actuantes sobre la placa se recalculan con el ancho b adoptado, obteniendo:

- $f_{max} = \frac{N_u}{b \times d} + \frac{6 \times M_u}{b \times d^2} = \frac{300{,}18\ kN}{250\ mm \times 650\ mm} + \frac{6 \times 31{,}73\ kNm}{250\ mm \times (650\ mm)^2} = 9{,}4\ MPa$
- $f_{min} = \frac{N_u}{b \times d} - \frac{6 \times M_u}{b \times d^2} = \frac{300{,}18\ kN}{250\ mm \times 650\ mm} - \frac{6 \times 31{,}73\ kNm}{250\ mm \times (650\ mm)^2} = 0{,}19\ MPa$

Una vez determinadas las dimensiones en planta de la plaza, se verificar el corte en los bulones.

Para resistir el esfuerzo de corte se dispone un total de cuatro bulones. De esta manera, el esfuerzo cortante transmitido a cada bulón se determina como:

$$V_i = \frac{V_u}{n_{bv}}$$

$$V_i = \frac{23{,}52\ kN}{4}$$

$$V_i = 5{,}88\ kN$$

Donde:

- $V_u = 23{,}52\ kN$: corte aplicado en la base;
- $n_{bv} = 4$: cantidad de bulones que resistirán los esfuerzos de corte.

Una vez determinada la fuerza de corte actuante sobre cada bulón, se procede a verificar su resistencia frente al estado límite de corte. Para ello, se compara la tensión de corte actuante con la tensión de diseño correspondiente.

La tensión de diseño al corte del bulón se determina mediante:

$$f_d = \phi \times F_{nv}$$

Donde el factor de resistencia es $\phi = 0{,}75$ y la resistencia a corte del bulón es $F_{nv} = 384\ MPa$.

$$f_d = 0{,}75 \times 384\ MPa$$

$$f_d = 288\ MPa$$

Por otra parte, la tensión de corte actuante en cada bulón resulta:

$$f_v = \frac{V_i}{A_b}$$

$$f_v = \frac{5{,}88\ kN}{1{,}13\ cm^2}$$

$$f_v = 52\ MPa$$

Donde $V_i = 5{,}88\ kN$ es el esfuerzo cortante transmitido por cada bulón y $A_b = \frac{\pi \times d_b^2}{4} = 1{,}13\ cm^2$ es el área de los bulones de 12 mm de diámetro.

Dado que $f_d = 288\ MPa > f_v = 52\ MPa$, el estado límite de corte en los bulones queda verificado.

Verificación del espesor de la placa base

Para ello, es necesario conocer el momento nominal máximo en la placa. Este momento nominal es:

$$M_{np} = 1{,}78\ kNm$$

En la Figura 66 se puede observar una carga distribuida que representa la reacción del hormigón sobre la placa base. Esta carga tiene un valor de $q = 1175{,}4\ kN/m$, que surge de $q = f_{max} \times \frac{b}{2}$. A su vez, las cargas de $146{,}93\ kN$ son las reacciones en las cartelas.

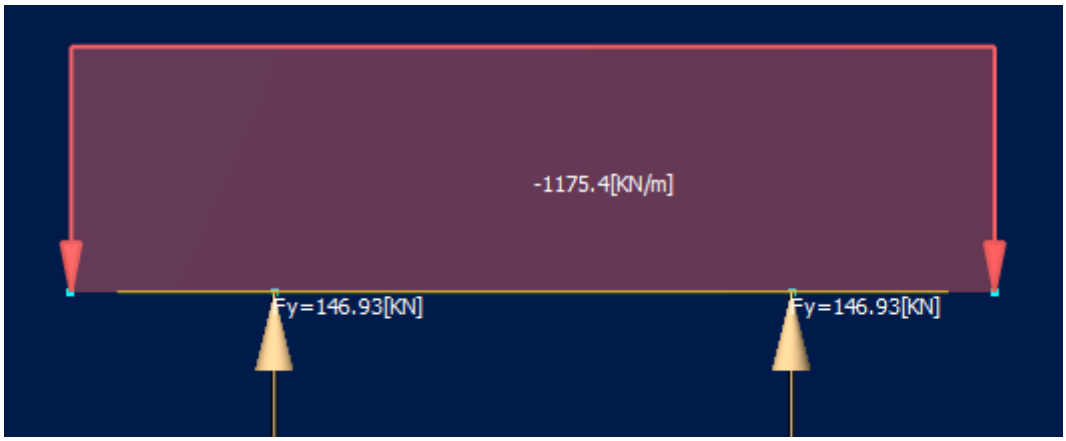


Figura 66. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base para dos columnas.

Mientras que, en la Figura 67, se observa el diagrama de momentos flectores producto de dichas cargas actuantes en la placa.

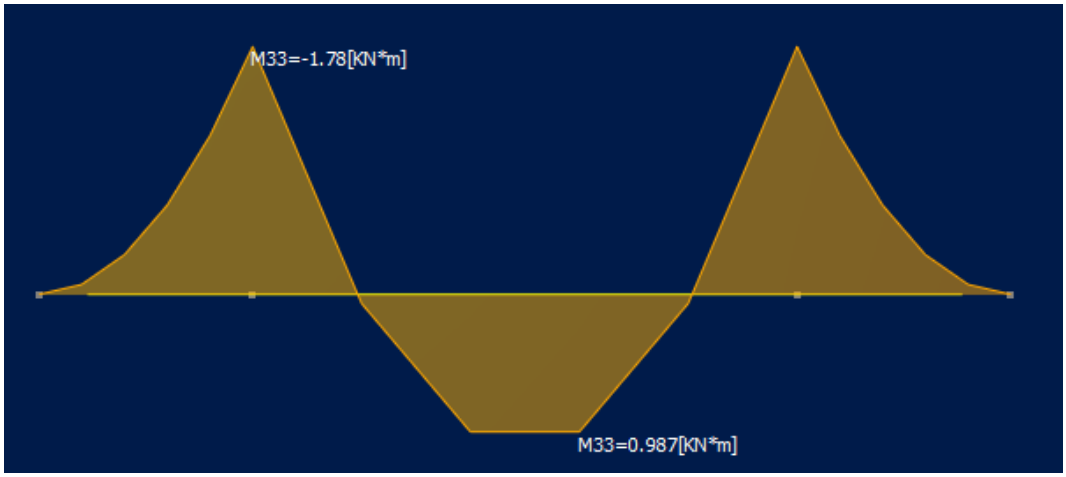


Figura 67. Diagrama de momentos flectores en la placa base para dos columnas.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene un momento de:

$$M_{up} = \phi \times M_{np}$$

$$M_{up} = 0{,}90 \times 1{,}78\ kNm$$

$$M_{up} = 1{,}6\ kNm$$

Con este momento, se determina el espesor de la placa, tal que:

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times M_{up}}{0{,}90 \times F_y}}$$

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times 1{,}6\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}}$$

$$t_{p_{nec}} = 6{,}53\ mm$$

De este modo, el espesor adoptado de placa base es $t_p = 7\ mm$. Comercialmente, la placa adoptada es de $9/32"$.

Una vez definido el espesor de la placa, se deberán dimensionar y verificar a flexión y corte las cartelas.

Para el dimensionado, se requiere conocer el módulo elástico necesario de las mismas, S_{nec}, se utiliza la siguiente expresión:

$$S_{nec} = \frac{M_n}{\phi \times F_y}$$

$$S_{nec} = \frac{11{,}45\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}$$

$$S_{nec} = 50{,}9\ cm^3$$

En donde:

- $M_n = 11{,}45\ kNm$: se obtiene entre el máximo momento nominal en la placa base en la parte de la cartela Se tienen actuando sobre la placa una carga trapezoidal cuyo máximo es $1175{,}4\frac{kN}{m}$ y su mínimo es $23{,}5\frac{kN}{m}$, además de las cargas $269{,}38\ kN, 76{,}19\ kN\ y\ 44{,}07\ kN$ correspondientes a las reacciones en las zonas donde se ubican las alas de los perfiles UPN que conforman la sección de las columnas.

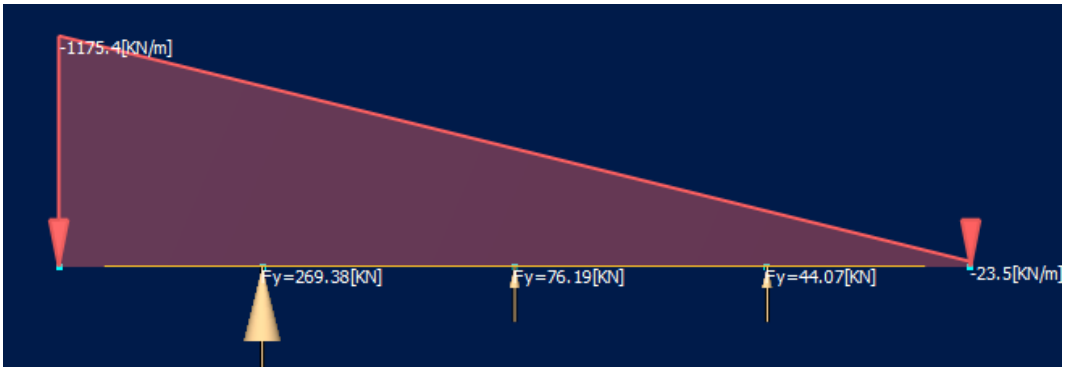


Figura 68. Esquema de cargas en la placa base para analizar la cartela.

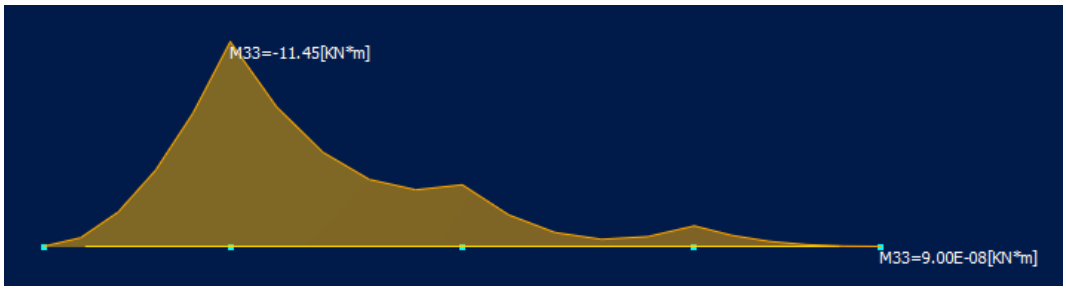


Figura 69. Momento nominal en la placa base para analizar la cartela.

- $\phi = 0{,}90$: factor de resistencia.
- $F_y = 250\ MPa$: tensión de fluencia del material de la placa.

Proponiendo una altura de cartela de $h = 30\ cm$, se despeja el espesor requerido de la misma:

$$S = \frac{e_c \times h_c^2}{6}$$

$$e_c = \frac{6 \times S}{h_c^2}$$

$$e_c = \frac{6 \times 50{,}9\ cm^3}{(20\ cm)^2}$$

$$e_c = 7{,}63\ mm$$

A pesar de que por rigidez flexional se requiere un espesor de cartela $e_c = 7{,}63\ mm$, se adopta un espesor de $e_{adop} = 12\ mm$, debido que con espesores menores no verifican los estados límite de la misma.

Las dimensiones finales adoptadas son:

- Altura: $h_c = 200\ mm$;
- Espesor: $e_c = 12\ mm$.

Verificación de las cartelas

Los estados límite a verificar en este caso son: plastificación, pandeo lateral torsional, y corte.

En primer lugar, se determina la clasificación de la sección transversal, la cual depende de la relación ancho–espesor.

La cartela constituye un elemento no rigidizado, cuya relación de esbeltez se determina mediante:

$$\lambda = \frac{h_c}{e_c}$$

$$\lambda = \frac{20\ cm}{1{,}2\ cm}$$

$$\lambda = 16{,}67$$

La esbeltez límite λ_p viene dada por:

$$\lambda_p = \frac{375}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_p = \frac{375}{\sqrt{250\ MPa}}$$

$$\lambda_p = 23{,}72$$

Al verificarse que $\lambda < \lambda_p$ se concluye que las cartelas son elementos compactos.

- Plastificación

La resistencia nominal a flexión para secciones compactas se adopta como el menor valor entre el momento plástico de la sección y 1,5 veces el momento elástico.

- Tensión de fluencia: $F_y = 250\ MPa$
- Módulo resistente elástico: $S_{recalculado} = \frac{e_c \times h_c^2}{6} = 80\ cm^3$
- Momento elástico: $M_y = S_x \times F_y = 80\ cm^3 \times 250\ MPa = 20\ kNm$
- Momento plástico: $M_p = Z_x \times F_y$. En el caso de bases de columnas, no aplica el uso de Z_x, por lo que $M_p = M_y$.

De este modo, el momento nominal para el estado límite de plastificación es:

$$M_p = 20\ kNm$$

Pandeo lateral torsional

Se analizan los tramos 1 y 2 de manera independiente, y se adopta aquel con menor resistencia. El tramo 1 es el que se encuentra entre el centro de la placa y el máximo momento en la cartela. El tramo 2 es el comprendido entre el máximo momento en la cartela y el borde de la placa.

- Longitud lateralmente no arriostrada: Se determinan los valores de las longitudes de los tramos L_{b1} y L_{b2}. En donde L_{b1} se determina como:

$$L_{b1} = 51\ cm$$

Y L_{b2} corresponde a la distancia entre el ala del perfil y el borde de la placa base:

$$L_{b2} = 14{,}5\ cm$$

Es decir, en el caso del tramo 1, se obtiene:

$$\frac{16000}{F_y} \leq \frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2} \leq \frac{380000}{F_y}$$

$$64 \leq \frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2} \leq 1520$$

$$\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c} = \frac{51\ cm \times 20\ cm}{(1{,}2\ cm)^2} = 261{,}11$$

Al obtenerse un valor comprendido entre los límites de la expresión, se debe determinar el momento nominal por pandeo lateral torsional para el tramo 1 con la siguiente expresión:

$$M_{npl1} = C_b \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2}\right) \times \frac{F_y}{E}\right] \times M_y$$

$$M_{npl1} = 1 \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{51\ cm \times 20\ cm}{(1{,}2\ cm)^2}\right) \times \frac{250\ MPa}{200000 MPa}\right] \times 20\ kNm$$

$$M_{npl1} = 28{,}61\ kNm$$

Es decir, en el tramo 1 gobierna la plastificación ya que $M_p = 20\ kNm < M_{npl1} = 28{,}61\ kNm$ y por lo tanto:

$$M_{n1} = 20\ kNm$$

En cuanto al tramo 2:

$$\frac{16000}{F_y} \leq \frac{L_{b2} \times h_c}{e_c^2} \leq \frac{380000}{F_y}$$

$$64 \leq \frac{L_{b2} \times h_c}{e_c^2} \leq 1520$$

$$\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c} = \frac{14{,}5\ cm \times 20\ cm}{(1{,}2\ cm)^2} = 322{,}91$$

Al igual que el tramo 1, nos encontramos entre los límites de la desigualdad, por lo que el momento nominal para pandeo lateral torsional del tramo 2 se determina como:

$$M_{npl2} = C_b \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{L_{b1} \times h_c}{e_c^2}\right) \times \frac{F_y}{E}\right] \times M_y$$

$$M_{npl2} = 1 \times \left[1{,}52 - 0{,}274 \times \left(\frac{14{,}5\ cm \times 20\ cm}{(1{,}2\ cm)^2}\right) \times \frac{250\ MPa}{200000 MPa}\right] \times 20\ kNm$$

$$M_{npl2} = 28{,}18\ kNm$$

Aquí también gobierna la plastificación debido a que $M_p = 20\ kNm < M_{npl2} = 28{,}18\ kNm$ y, por lo tanto:

$$M_{n2} = 20\ kNm$$

De este modo, gobierna la plastificación en ambos tramos y el momento nominal de la cartela es:

$$M_n = 20\ kNm$$

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$ se obtiene finalmente la resistencia de diseño:

$$M_d = \phi \times M_n$$

$$M_d = 0{,}90 \times 20\ kNm$$

$$M_d = 18\ kNm$$

Comparando el valor de la resistencia de diseño con el momento solicitante:

$$M_d = 18\ kNm > M_u = 11{,}45\ kNm$$

De este modo, queda verificada la resistencia a flexión de las cartelas.

Corte

El análisis del corte en secciones rectangulares macizas se obtiene por la fórmula de Jouraski:

$$\tau = \frac{V_u \times S_x}{e_c \times I_x}$$

$$\tau = \frac{151{,}79\ kN \times 80\ cm^3}{1{,}2\ cm \times 800\ cm^4}$$

$$\tau = 126{,}49\ MPa$$

Donde:

- $V_u = 151{,}79\ kN$: esfuerzo de corte actuante en la cartela;
- $S_x = 80\ cm^3$: módulo elástico de la cartela;
- $e_C = 1{,}2\ cm$: espesor de la cartela;

- $I_x = 800\ cm^4$: momento de inercia de la cartela con respecto a su eje fuerte.

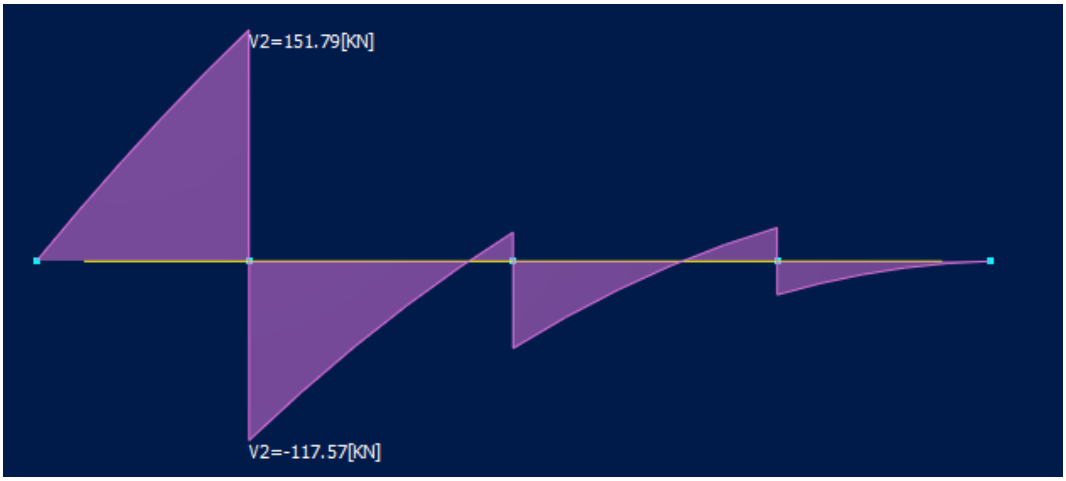


Figura 70. Esfuerzo de corte actuante en la cartela.

Esta tensión de corte τ debe cumplir que:

$$\tau \leq 0{,}6 \times \phi \times F_y$$

$$\tau \leq 0{,}6 \times 0{,}9 \times 250\ MPa$$

$$\tau \leq 135\ MPa$$

Al resultar $\tau = 126{,}49\ MPa < 135\ MPa$, queda verificado el corte en las cartelas.

Soldadura de la cartela

- Cordones verticales:

El número de cordones verticales proyectado es $n_c = 4$. En base a ellos, se sabe que la compresión será resistida por la totalidad de los mismos, mientras que la flexión solo por aquellos cordones de la zona traccionada, es decir, por $n_t = 2$. Es por eso que:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n_c} + \frac{M_u}{(d - h') \times n_t}$$

$$P_{u1} = \frac{300{,}18\ kN}{4} + \frac{31{,}73\ kNm}{(65\ cm - 2{,}4\ cm) \times 2}$$

$$P_{u1} = 84{,}19\ kN$$

Por otro lado, el corte se distribuye por igual en los cuatro cordones:

$$V_{u1} = \frac{V_{uc}}{n_c}$$

$$V_{u1} = \frac{151{,}79\ kN}{4}$$

$$V_{u1} = 37{,}95\ kN$$

Al componer ambos esfuerzos se obtiene:

$$F_u = \sqrt{P_{u1}^2 + V_{u1}^2}$$

$$F_u = \sqrt{(84{,}19\ kN)^2 + (37{,}95\ kN)^2}$$

$$F_u = 92{,}35\ kN$$

La resistencia de diseño de la soldadura viene dada por:

$$R_d = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times 0{,}707 \times w$$

$$R_d = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times 0{,}707 \times 0{,}5\ cm$$

$$R_d = 6{,}11\ \frac{kN}{cm}$$

Donde:

- $F_{EEX} = 480\ MPa$: resistencia del material del material de aporte de la soldadura;
- $w = 5\ mm$: cateto adoptado, siendo el mínimo requerido en función del espesor del elemento más grueso, en este caso la cartela, cuyo $e_c = 10\ mm$.

Conociendo la resistencia requerida y la resistencia de diseño, es posible determinar la longitud de los cordones:

$$L_{cv} = \frac{F_u}{R_d}$$

$$L_{cv} = \frac{92{,}35\ kN}{6{,}11\ \frac{kN}{cm}}$$

$$L_{cv} = 15{,}12\ cm$$

Como la longitud del cordón de soldadura es menor que la altura de la cartela $h_c = 20\ cm$, queda verificado el cordón lateral.

- Cordones horizontales:

En la placa se tienen $n_c = 4$ cordones que resisten, uno a cada lado de la cartela, desde las alas de la columna hacia afuera.

De esta forma, la compresión sobre cada cordón será:

$$N_{u1} = \frac{f_{max} \times b \times d}{n_c}$$

$$N_{u1} = \frac{15{,}3\ MPa \times 25\ cm \times 65\ cm}{4}$$

$$N_{u1} = 191\ kN$$

La resistencia de diseño a la compresión de la misma es:

$$R_{dc} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times (0{,}707 \times L_{trans})$$

$$R_{dc} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times (0{,}707 \times 29\ cm)$$

$$R_{dc} = 354{,}3\ \frac{kN}{cm}$$

Donde:

- $L_{trans} = d - d_{columna} = 65\ cm - 2 \times 18\ cm = 29\ cm$ es la longitud del cordón de la soldadura.

Finalmente, el ancho de cateto se determina como:

$$w_{nec_c} = \frac{N_u}{R_{dc}}$$

$$w_{nec_c} = \frac{191\ kN}{354{,}3 \frac{kN}{cm}}$$

$$w_{nec_c} = 5{,}39\ mm$$

En la zona de corte, vamos a tener que resisten $n_v = 2$ cordones. El corte en cada cordón será:

$$V_{u1} = \frac{V_u}{n_v}$$

$$V_{u1} = \frac{23{,}52\ kN}{2}$$

$$V_{u1} = 11{,}76\ kN$$

La resistencia de diseño al corte de la misma es:

$$R_{dv} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times F_{EEX}) \times (0{,}707 \times L_{trans_v})$$

$$R_{dv} = 0{,}6 \times (0{,}6 \times 480\ MPa) \times (0{,}707 \times 65\ cm)$$

$$R_{dv} = 794{,}1\ \frac{kN}{cm}$$

Finalmente, el cateto de soldadura para corte es:

$$w_{nec_v} = \frac{V_{u1}}{R_{dv}}$$

$$w_{nec_v} = \frac{11{,}76\ kN}{794{,}1 \frac{kN}{cm}}$$

$$w_{nec_v} = 0{,}15\ mm$$

De esta forma, se adopta como cateto de soldadura horizontal al mayor valor obtenido entre las tres zonas analizadas, es decir:

$$w_h = \max\left(w_{nec_c}; w_{nec_v}\right)$$

$$w_h = max(11{,}76\ mm; 0{,}15\ mm)$$

$$w_h = 12\ mm$$

Soldadura columna – placa

La unión soldada entre la columna y la placa base debe ser capaz de transmitir las solicitaciones de esfuerzo axial, corte y momento flector provenientes de la estructura hacia la fundación.

Para esta unión se adoptó una soldadura de filete continua, siguiendo todo el contorno del perfil, con un cateto uniforme de $w = 6\ mm$.

La resistencia nominal al corte de la soldadura por unidad de longitud se determina mediante:

$$R_n = F_n \times A_w$$

$$R_n = 288\ MPa \times 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$$

$$R_n = 1{,}22 \frac{kN}{mm}$$

Donde:

- $F_{nw} = 288\ MPa$: tensión nominal de la soldadura del alma;
- $A_w = \frac{w_w}{\sqrt{2}} = \frac{6\ mm}{\sqrt{2}} = 4{,}24 \frac{mm^2}{mm}$: área efectiva de la soldadura del alma por unidad de longitud, para un cateto de $w_w = 6\ mm$.

La resistencia de diseño resulta:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}75 \times 1{,}22 \frac{kN}{mm}$$

$$R_d = 0{,}92 \frac{kN}{mm}$$

Donde ϕ es el factor de resistencia.

Posteriormente, se determinan las tensiones actuantes en la soldadura. Para ello, se determinan en primer lugar las siguientes propiedades:

- Longitud de soldadura:

$$l = 2 \times (B + H)$$

$$l = 2 \times (140\ mm + 360\ mm)$$

$$l = 1000\ mm$$

- Módulo elástico alrededor del eje fuerte de la viga (x):

$$S_x = B \times H + \frac{H^2}{3}$$

$$S_x = 14\ cm \times 36\ cm + \frac{(36\ cm)^2}{3}$$

$$S_x = 936\ cm^3$$

- Modulo elástico alrededor del eje débil de la viga (z):

$$S_z = H \times B + \frac{B^2}{3}$$

$$S_z = 36\ cm \times 14\ cm + \frac{(14\ cm)^2}{3}$$

$$S_z = 569\ cm^3$$

- Constante torsional de la soldadura:

$$J_w = \frac{(B+H)^3}{6}$$

$$J_w = \frac{(14\ cm + 36\ cm)^3}{6}$$

$$J_w = 20833\ cm^4$$

Las cargas aplicadas en la soldadura son:

- Compresión axil: $N_u = -300{,}18\ kN$;
- Flexión alrededor del eje fuerte: $M_{ux} = 31{,}73\ kNm$;
- Flexión alrededor del eje débil: $M_{uz} = -14{,}23\ kNm$;
- Corte: $V_u = 23{,}52\ kN$.

Teniendo en cuenta dichas solicitaciones, se determina la tensión en la soldadura debido a cada una de ellas:

- Corte por mm debido a la carga F_x:

  En este caso, la carga $F_x = 0$. De esta forma, la tensión en la soldadura es:

$$f_x = \frac{F_x}{l}$$

$$f_x = 0$$

- Corte por mm debido a la carga F_y:

  En este caso, la carga F_y es el corte al que se solicita la soldadura, es decir, $F_y = V_u = 23{,}52\ kN$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido al corte es:

$$f_y = \frac{F_y}{l}$$

$$f_y = \frac{23{,}52\ kN}{1000\ mm}$$

$$f_y = 0{,}02\ \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a la carga F_z:

  En este caso, la carga F_z es la compresión en la columna, es decir, $F_z = N_u = -300{,}18\ kN$. De este modo se obtiene:

$$f_z = \frac{F_z}{l}$$

$$f_z = \frac{-300{,}18\ kn}{1000\ mm}$$

$$f_z = -0{,}3$$

- Corte por mm debido a M_x:

  En este caso, M_x es la flexión alrededor del eje fuerte, es decir, $M_x = M_{ux} = 31{,}73\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje fuerte es:

$$m_x = \frac{M_x}{S_x}$$

$$m_x = \frac{31{,}73\ kNm}{936\ cm^3}$$

$$m_x = 0{,}34 \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_y:

  En este caso, M_y es la flexión alrededor del eje débil, es decir, $M_y = M_{uz} = -14{,}23\ kNm$. De esta forma, la tensión en la soldadura debido a la flexión alrededor del eje débil es:

$$m_y = \frac{M_y}{S_z}$$

$$m_y = \frac{-14{,}23\ kNm}{569\ cm^3}$$

$$m_y = -0{,}25 \frac{kN}{mm}$$

- Corte por mm debido a M_z:

  En este caso, M_z =0 por lo que la tensión en la soldadura es:

$$m_{zh} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{H}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

$$m_{zv} = \frac{M_z}{J_w} \times \frac{B}{2}$$

$$m_{zh} = 0$$

Posteriormente, las distintas componentes se combinan vectorialmente de acuerdo con sus respectivas direcciones, distinguiendo entre aquellas contenidas en el plano de la unión y aquellas que actúan fuera de él.

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección del plano:

$$f_{v_{long}} = \sqrt{\left(f_x + m_{z_h}\right)^2 + \left(f_y + m_{z_v}\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = \sqrt{(0+0)^2 + \left(0{,}02\frac{kN}{mm} + 0\right)^2}$$

$$f_{v_{long}} = 0{,}02\frac{kN}{mm}$$

- Esfuerzo cortante total por unidad de longitud en la dirección fuera del plano:

$$f_{v_{trans}} = f_z + m_x + m_y$$

$$f_{v_{trans}} = -0{,}3\frac{kN}{mm} + 0{,}34\frac{kN}{mm} - 0{,}25\frac{kN}{mm}$$

$$f_{v_{ttrans}} = -0{,}23\frac{kN}{mm}$$

Finalmente, ambas componentes resultantes se combinan para determinar la máxima demanda por unidad de longitud actuante sobre la soldadura.

$$f_R = \sqrt{\left(f_{v_{long}}\right)^2 + \left(f_{v_{trans}}\right)^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(0{,}02\frac{kN}{mm}\right)^2 + \left(-0{,}23\frac{kN}{mm}\right)^2}$$

$$f_R = 0{,}22\frac{kN}{mm}$$

El valor resultante constituye la solicitación de diseño de la soldadura y se compara con su resistencia de diseño por unidad de longitud. La unión se considera verificada ya que:

$$R_{dw} = 0{,}92\frac{kN}{mm} > f_R = 0{,}22\frac{kN}{mm}$$

Verificación del espesor de la placa base para el momento en el eje débil (z)

Es importante destacar que se debe verificar que el espesor de la placa base sea suficiente para soportar el estado tensional de la misma en ambas direcciones de acción de la carga.

Es por ello que, considerando el momento flector alrededor del eje débil $M_{uz} = 14{,}23\ kNm$, se procede a realizar la verificación.

En primer lugar, es necesario conocer el momento nominal máximo en la placa. Este momento nominal es:

$$M_{np} = 7{,}29\ kNm$$

En la Figura 71 se puede observar una carga distribuida que representa la reacción del hormigón sobre la placa base. Esta carga tiene un valor de $q_{max} = 728{,}41\ kN/m$, que surge de $q_{min} = 6{,}5\ kN/m$. A su vez, las cargas de $171{,}2\ kN$, $47{,}96\ kN$ y $26{,}12\ kN$ son las reacciones en las alas de las columnas.

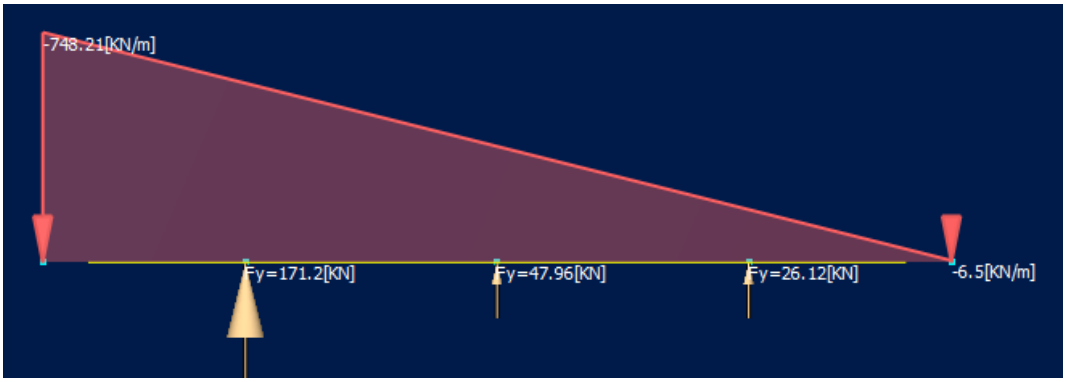


Figura 71. Esquema de cargas actuantes en el ancho b de la placa base.

Mientras que, en la Figura 72, se observa el diagrama de momentos flectores producto de dichas cargas actuantes en la placa.

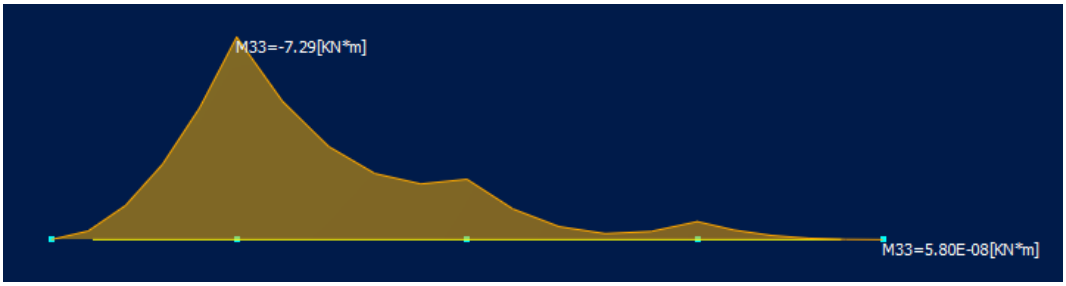


Figura 72. Diagrama de momentos flectores en la placa base.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}90$, se obtiene un momento de:

$$M_{up} = \phi \times M_{np}$$

$$M_{up} = 0{,}90 \times 7{,}29\ kNm$$

$$M_{up} = 6{,}56\ kNm$$

Con este momento, se determina el espesor de la placa, tal que:

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times M_{up}}{0{,}90 \times F_y}}$$

$$t_{p_{nec}} = \sqrt{\frac{6 \times 6{,}56\ kNm}{0{,}90 \times 250\ MPa}}$$

$$t_{p_{necz}} = 13{,}23\ mm$$

De este modo, el espesor requerido en la dirección X para la placa base es de $t_{px} = 7\ m$, mientras que el requerido en la dirección Z es de $t_{pz} = 14\ mm$, es decir, que se adopta como espesor definitivo para la placa base $t = 14\ mm$.

Aplastamiento de los agujeros de los bulones

Se procede a verificar la resistencia al aplastamiento del material en los agujeros correspondientes a los bulones de la placa base, con el objetivo de asegurar que las tensiones de contacto generadas por la transmisión de esfuerzos no superen la capacidad resistente del acero.

La resistencia nominal al aplastamiento se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_n = (2{,}4 \times d_b \times t \times F_u)$$

$$R_n = 2{,}4 \times 12\ mm \times 14\ mm \times 360\ MPa$$

$$R_n = 145{,}14\ \ kN$$

Donde:

- $d_b = 12\ mm$: diámetro nominal del bulón;
- $t = 14\ mm$: espesor de la placa base;
- $F_u = 360\ MPa$: tensión última del acero de la placa;

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}75 \times 145{,}14\ kN$$

$$R_d = 108{,}86\ kN$$

La resistencia obtenida se compara con el esfuerzo de corte total transmitido por la placa base. Los resultados indican que la capacidad resistente disponible es suficiente para resistir las solicitaciones actuantes, $R_d = 108{,}86\ kN > V_u = 23{,}52\ kN$, por lo que la verificación correspondiente al estado límite de aplastamiento de los agujeros resulta satisfactoria.

Desgarramiento de los agujeros de los bulones

Este mecanismo de falla corresponde a la posible rotura del material comprendido entre el borde del agujero y el borde libre de la placa como consecuencia de los esfuerzos transmitidos por los bulones.

La resistencia nominal se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_n = 1{,}2 \times l_c \times t \times F_u$$

$$R_n = 1{,}2 \times 24\,mm \times 14\,mm \times 360\,MPa$$

$$R_n = 145{,}16\ \ kN$$

Donde $l_c = 24\,mm$ es la distancia libre entre el borde del agujero y el borde libre de la placa, $t = 14\,mm$ es el espesor de la placa base y $F_u = 360\,MPa$ es la tensión última del material de la misma.

Aplicando el factor de resistencia $\phi = 0{,}75$, se obtiene la resistencia de diseño:

$$R_d = \phi \times R_n$$

$$R_d = 0{,}75 \times 72{,}58kN$$

$$R_d = 108{,}87\ \ kN$$

La resistencia de diseño obtenida se compara con la fuerza transmitida por cada bulón. La comparación entre ambos valores $R_d = 108{,}87\ kN > V_u = 23{,}52\ kN$ indica que la placa base posee capacidad suficiente para resistir este estado límite, por lo que la verificación resulta satisfactoria.

Geometría final adoptada

De este modo, queda verificada la placa base y en la Figura 73 se presentan sus dimensiones finales.

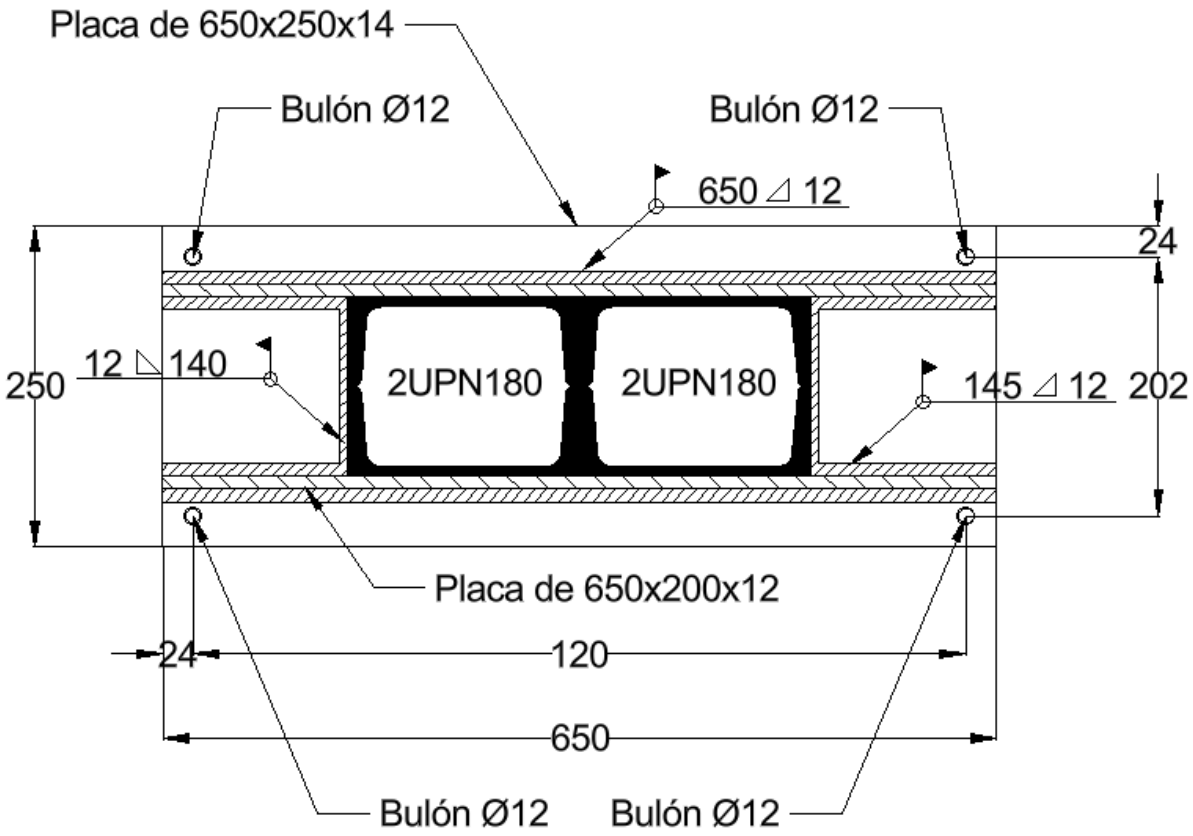


Figura 73.Geometría final de la placa base para dos columnas de módulos contiguos.

10.8. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES EN SERVICIO

Además de las verificaciones correspondientes a los estados límite últimos, se realizó el control de las deformaciones de la estructura bajo condiciones de servicio. Estas verificaciones tienen por objeto limitar los desplazamientos de los elementos estructurales y de la estructura en su conjunto, de manera de garantizar un comportamiento adecuado durante su utilización.

Para esta verificación se adoptó la Torre 1, por ser el modelo que presentó los mayores desplazamientos frente a la acción del viento y, por lo tanto, la condición más desfavorable entre las estructuras analizadas. Las deformaciones obtenidas se compararon con los valores máximos admisibles establecidos por el Reglamento CIRSOC 301 (2018).

De acuerdo con el Reglamento CIRSOC 301 (2018), los desplazamientos laterales de la estructura y los desplazamientos horizontales relativos entre pisos, debidos a la acción nominal del viento, no deben afectar a las estructuras adyacentes ni superar los valores límites

aceptables para la estabilidad y el funcionamiento de la construcción. Dichos valores máximos se presentan en la Tabla 39.

Tabla 39. Máximas deformaciones admitidas, según CIRSOC 301 (2018).

EDIFICIOS INDUSTRIALES				
	Elemento	**Flecha total**	**Flecha por carga variable**	
			Por	
Deformaciones verticales	Barras soportando cubiertas rígidas	L/200	Sobrecarga Útil	L/240
	Barras soportando cubiertas flexibles	L/150	Sobrecarga Útil	L/180
	Barras soportando pisos	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Vigas carril para grúas de capacidad **≥ 200 Kn**		Rueda sin impacto	L/800 **(c)**
	Vigas carril para grúas de capacidad **< 200 Kn**		Rueda sin impacto	L/600 **(c)**
Desplazamiento lateral (d)	Vigas carril		Frenado transversal	L/600 **(c)**
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de viento	H/150	Viento	H/160
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de puente grúa.		Frenado puente Grúa	H/400 **(c)**
PARA OTROS EDIFICIOS				
Deformaciones verticales	Techos en general	L/200	Sobrecarga Útil	L/250
	Techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento)	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Pisos en general	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Barras de pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	L/300	Sobrecarga Útil	L/350
	Pisos que soporten columnas	L/400	Sobrecarga Útil	L/500
	Donde la deformación puede afectar el aspecto	L/250		
Desplazamiento lateral (d)	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	H_T/300
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H_P/400
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H_P/300

En la misma se observa que para el análisis de deformaciones horizontales para otros edificios debidas al viento, los máximos permitidos son $\frac{H_T}{300}$ para la altura total del edificio y $\frac{H_P}{400}$ para cada piso. De este modo, las verificaciones resultan satisfactorias y se presentan en la Tabla 40.

Tabla 40. Deformaciones en servicio de la Torre 1.

DIRECCIÓN X							
Piso	**Altura de piso (mm)**	**Def por piso (mm)**	**Def máx adm por piso Hp/400**	**Verificación de def por piso**	**Def total (mm)**	**Def máx adm total Ht/300**	**Verificación de def total**
1	2600	0.1	8.67	Verifica	0.42	43.33	Verifica
2	2600	0.23	8.67	Verifica			
3	2600	0.33	8.67	Verifica			
4	2600	0.39	8.67	Verifica			
5	2600	0.42	8.67	Verifica			
DIRECCIÓN Z							
Piso	**Altura de piso (mm)**	**Def por piso (mm)**	**Def máx adm por piso Hp/400**	**Verificación de def por piso**	**Def total (mm)**	**Def máx adm total Ht/300**	**Verificación de def total**
1	2600	0.39	6.50	Verifica	22.01	43.33	Verifica
2	2600	0.86	6.50	Verifica			
3	2600	1.22	6.50	Verifica			
4	2600	1.44	6.50	Verifica			
5	2600	1.54	6.50	Verifica			

10.9. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES EN TRANSPORTE Y MONTAJE

Una vez dimensionado el módulo, se deben verificar los mismos para los estados de transporte y montaje. Al resultar solicitaciones menores, los estados límite verifican y resta comparar las deformaciones obtenidas durante estos procesos con las deformaciones máximas permitidas para estados límite de servicio.

10.9.1. DEFORMACIONES EN MONTAJE

En la Figura 74 se puede observar el modelo de los módulos habitacionales en situación montaje. En este caso, se modelaron en las cuatro esquinas superiores apoyos articulados, con el objetivo de simular los puntos de agarre de los mismos. De igual modo que en los modelos del edificio y vivienda, se consideraron las cargas de viento correspondientes y la sobrecarga de ambos tipos de módulos: entrepiso y cubierta. A su vez, se consideró una carga horizontal igual al peso propio de la losa, ubicado en el centro de masa de la misma.

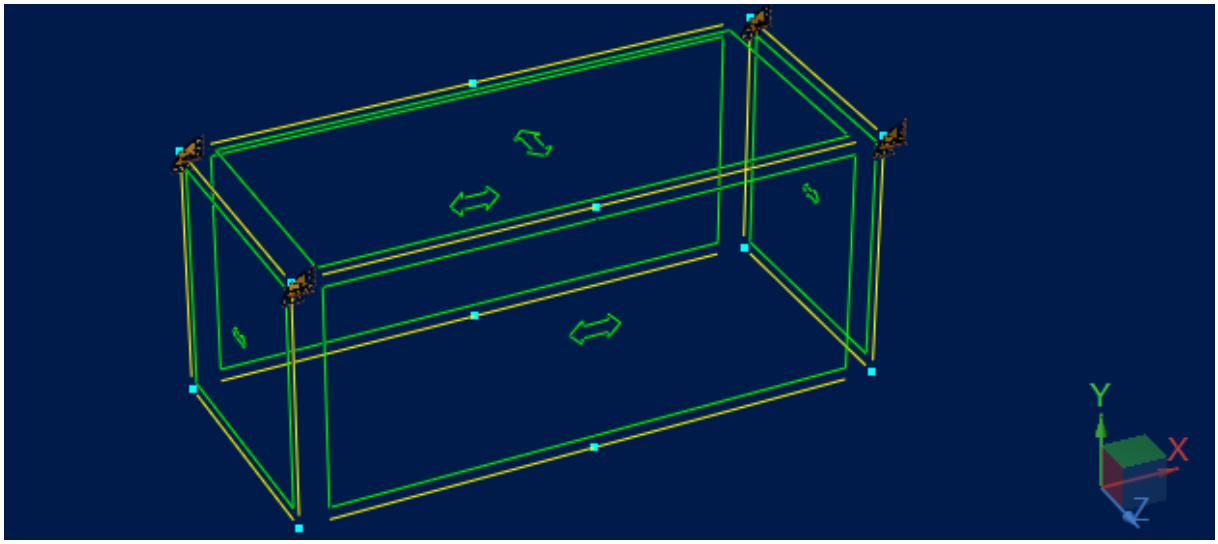


Figura 74. Modelo de los módulos habitacionales en situación de montaje, desarrollado mediante el software RAM Elements.

De este modo, los estados límite de servicio arrojaron deformaciones que se encuentran por debajo de los máximos admitidos. Para los módulos de cubierta, se establece que dicho máximo es $\frac{l}{200}$ y para los de entrepiso $\frac{l}{250}$. Dicho análisis se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41. Deformaciones de los módulos en montaje.

MÓDULOS DE CUBIERTA - MONTAJE				
ELEMENTO	**DEF (mm)**	**LUZ (cm)**	**DEF MÁX (mm)**	**VERIFICACIÓN**
W8x24	3	600	3	Verifica
W4x13	0,15	600	3	Verifica
MÓDULOS DE ENTREPISO - MONTAJE				
ELEMENTO	**DEF (mm)**	**LUZ (cm)**	**DEF MÁX (mm)**	**VERIFICACIÓN**
W8x24	1	600	2,4	Verifica
W4x13	0,58	600	2,4	Verifica

El montaje de los módulos se prevé mediante el empleo de grúas para su izaje y posicionamiento. Para ello, se contempla la utilización de grilletes con una capacidad de carga de 6,5 toneladas, adecuada para resistir el peso aproximado de cada módulo, estimado en 6 toneladas.

A fin de materializar los puntos de izaje, se prevé disponer placas metálicas soldadas a las columnas, provistas de una perforación destinada a la colocación de los grilletes. De esta manera, las cargas generadas durante la maniobra de elevación se transmiten desde los

elementos de izaje hacia la estructura resistente del módulo. Una vez montado en el sitio, se remueve la placa.

En la Figura 75 se puede observar un esquema del sistema de montaje de cada módulo.

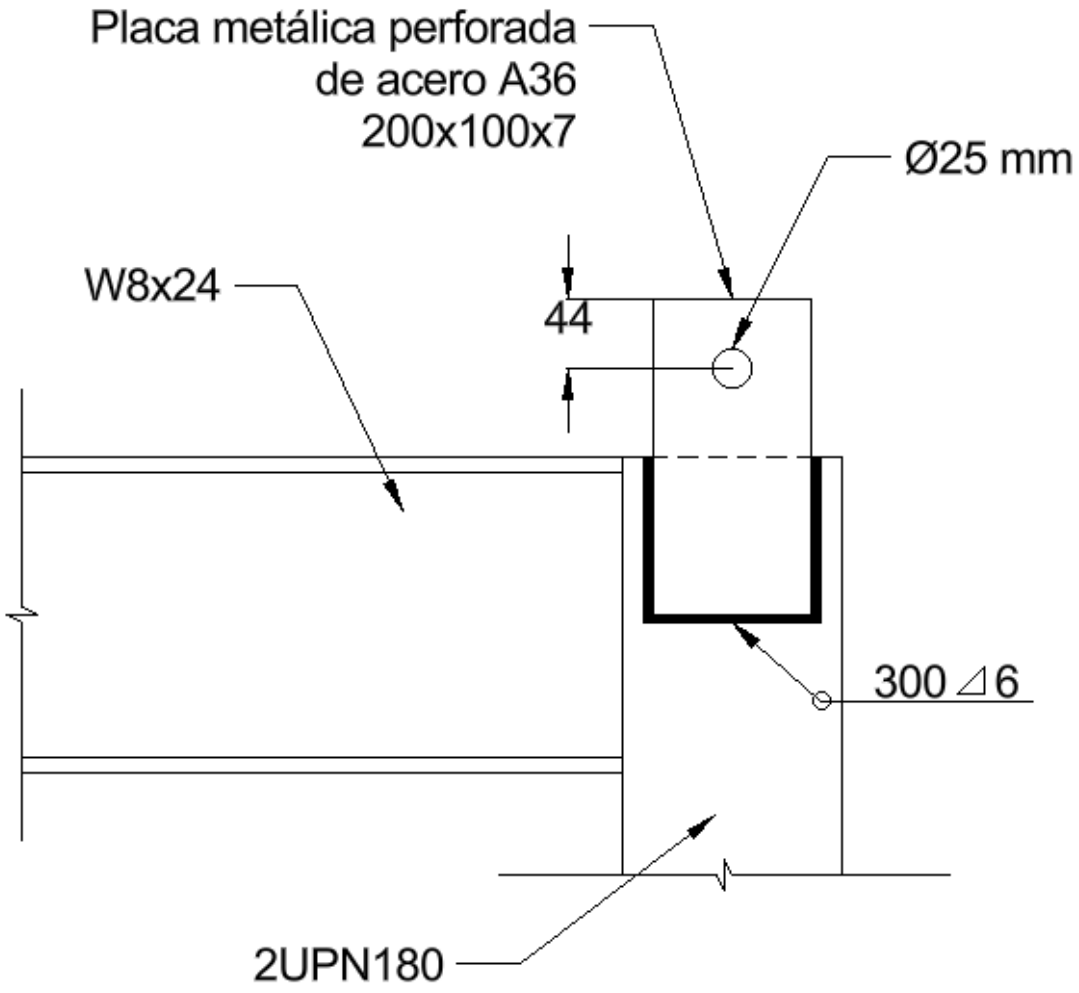


Figura 75. Esquema del sistema de montaje de los módulos.

10.9.2. DEFORMACIONES EN TRANSPORTE

Al igual que para la condición de montaje, se consideraron las cargas de viento correspondientes y la sobrecarga asociada a ambos tipos de módulos, tanto de entrepiso como de cubierta. A su vez, se consideró una carga horizontal igual al peso propio de la losa, ubicado en el centro de masa de la misma, a fines de considerar las turbulencias ocasionadas durante el mismo.

En este caso se dispusieron apoyos articulados en los nudos inferiores de las columnas. Esta condición de vínculo se adoptó con el objetivo de representar de manera simplificada y conservadora la vinculación del módulo con el vehículo encargado de su traslado,

restringiendo los desplazamientos en los puntos de apoyo sin introducir empotramientos que no se corresponden con las condiciones reales de sujeción durante el transporte.

En la Figura 76 se presenta el modelo desarrollado en RAM Elements para representar la condición de transporte.

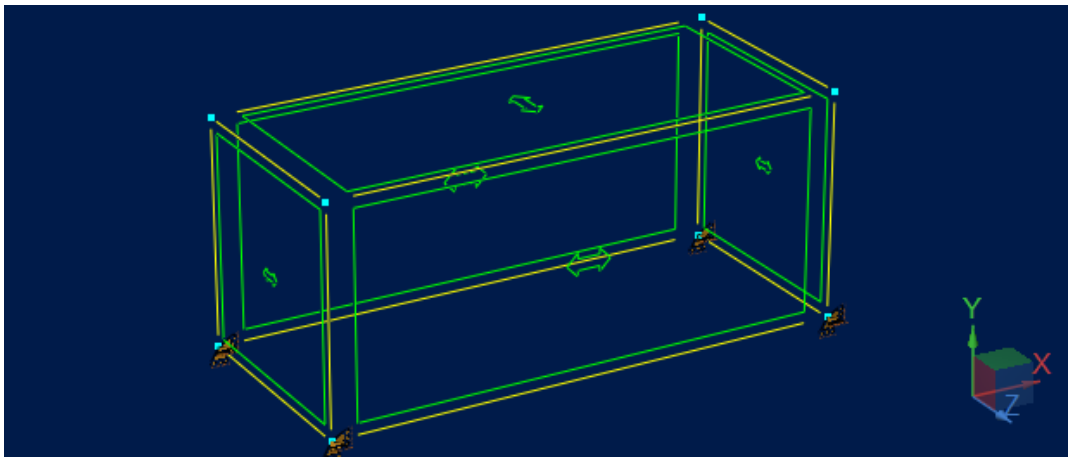


Figura 76.Modelo de los módulos habitacionales en situación de transporte, desarrollado mediante el software RAM Elements.

El análisis realizado para el transporte se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42. Deformaciones de los módulos en transporte.

MÓDULOS DE CUBIERTA - TRANSPORTE				
ELEMENTO	**DEF (mm)**	**LUZ (cm)**	**DEF MÁX (mm)**	**VERIFICACIÓN**
W8x24	3	600	3	Verifica
W4x13	0,3	600	3	Verifica
MÓDULOS DE ENTREPISO - TRANSPORTE				
ELEMENTO	**DEF (mm)**	**LUZ (cm)**	**DEF MÁX (mm)**	**VERIFICACIÓN**
W8x24	1	600	2,4	Verifica
W4x13	0,6	600	2,4	Verifica

De este modo, quedan verificadas las condiciones correspondientes tanto al transporte como al montaje.

10.10. SEPARACIÓN DE LAS TORRES

Finalmente, a partir de los desplazamientos laterales obtenidos para cada nivel, se determina la separación mínima necesaria entre las torres que conforman el edificio, con el objetivo de evitar el contacto entre estructuras adyacentes durante su desplazamiento.

La máxima deformación lateral obtenida corresponde a la Torre 1 en dirección Z, con un valor de 1,55 mm. De manera conservadora, para la determinación de la separación entre estructuras se considera que ambas torres pueden experimentar simultáneamente dicho desplazamiento en sentidos opuestos, aproximándose entre sí.

En consecuencia, se adopta como separación mínima el doble del máximo desplazamiento obtenido, resultando:

$$S_{min} = 2 \times 1{,}55\ mm$$

$$S_{min} = 3{,}10\ mm$$

Asimismo, debe considerarse que la disposición constructiva de las placas de unión entre módulos genera una separación adicional entre las estructuras. Por lo tanto, al definir la separación final entre ambas torres y la correspondiente junta, deberá contemplarse tanto la separación mínima requerida por los desplazamientos laterales, de $3{,}10\ mm$, como la separación geométrica resultante de la configuración de dichas placas, que resulta $10\ mm$.

De este modo, la junta estructural entre las torres deberá presentar un ancho mínimo de $13{,}1\ mm$, pudiendo adoptarse posteriormente una dimensión superior por consideraciones constructivas y de ejecución.

En la Figura 77, se puede observar en color verde la ubicación de las juntas entre las torres que conforman el edificio.

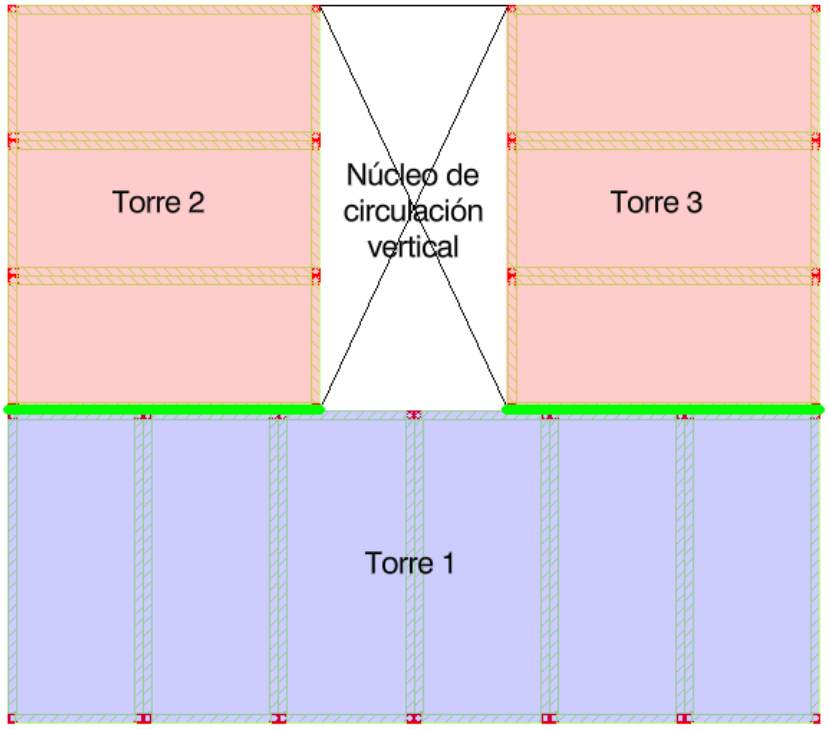


Figura 77. Disposición de juntas en el edificio.

11. ANÁLISIS DE COSTOS

Para el análisis de costos se realizó una estimación comparativa preliminar entre un módulo ejecutado mediante el sistema constructivo propuesto y un módulo equivalente resuelto mediante construcción tradicional. Para ello, se consideraron exclusivamente los costos directos asociados a los materiales necesarios para la ejecución de cada alternativa, tomando como referencia valores publicados por el Colegio de Arquitectos de Córdoba y proveedores comerciales.

Dado el carácter preliminar del análisis, no se contemplaron costos asociados a mano de obra, fabricación, transporte de materiales y módulos, montaje, utilización de equipos, logística ni otros costos indirectos vinculados al proceso constructivo. De esta manera, la comparación se limita al costo de los materiales requeridos por cada sistema, permitiendo establecer una primera aproximación a la conveniencia económica relativa entre ambas alternativas.

Asimismo, debe considerarse que los precios de los materiales pueden variar en función de la fecha de cotización, el proveedor, la ubicación y las condiciones particulares de adquisición. Por este motivo, los resultados obtenidos no representan un presupuesto definitivo de ejecución, sino una estimación orientativa destinada a complementar la comparación entre el sistema modular propuesto y la construcción tradicional.

11.1. MÓDULO EN CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

Para obtener una aproximación de la estructura en hormigón armado, se realizó el predimensionado de la misma según el Reglamento CIRSOC 201 (2024). Las vigas fueron consideradas como simplemente apoyadas, sobre losas macizas armadas en una dirección, por lo que su altura resultó de la expresión $h = \frac{luz}{20}$. A diferencia del sistema metálico, no es necesario contar con el cordón inferior de vigas, por lo que simplemente se cuenta con dos tipologías de vigas:

- V1: vigas de $6\ m$ de luz;
- V2: vigas de $2{,}6\ m$ de luz.

Para las columnas, se tomó como sección lo mínimo permitido por reglamento, es decir, 20×20. Del mismo modo que en las vigas, se determinó el volumen de hormigón requerido para una altura de $2{,}6\ m$.

En el caso de la losa, la altura de la misma se determinó con la expresión $h = \frac{luz}{36}$ pero, al resultar menor al mínimo admitido de $12\ cm$, se adoptó ese valor.

Mediante un cómputo métrico se obtuvieron los valores de las cantidades de los diferentes ítems, ya que las dimensiones de los módulos son:

- Altura: $2{,}6\ m$;
- Ancho: $2{,}6\ m$;
- Largo: $6\ m$;
- Superficie: $15{,}6\ m^2$;

En base a los precios determinados por el Colegio de Arquitectos de Córdoba en febrero del 2026, se determinó el valor de cada ítem y se formuló un presupuesto estimativo que arrojó como resultado un total de $\$31.326.940{,}68$ (pesos treinta y un millones trescientos veintiséis mil novecientos cuarenta con sesenta y ocho centavos). Dividiendo entre los $15.6\ m^2$ del módulo, el precio es: $\$\ 2.008.137{,}22/m^2$ para la construcción tradicional.

El cómputo métrico y presupuesto desarrollado se presenta en la Tabla 43.

Tabla 43. Cómputo métrico y presupuesto para un módulo habitacional MH construido mediante sistema tradicional.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
1	**Estructura de Hormigón Armado**				
1.1	Columnas C20x20	10.40	m³	1,022,606.00	10,635,102.40
1.2	Vigas V1 15x30	13.50	m³	842,279.00	11,370,766.50
1.3	Vigas V2 15x15	2.92	m³	842,279.00	2,463,666.08
1.4	Losas h=12 cm	1.87	m³	99,680.00	186,600.96
2.	**Albañilería**				
2.1	Mampostería de ladrillo cerámico 12 cm	75.92	m²	44,186.00	3,354,601.12
3	**Aislaciones**				
3.1	Capa aisladora horizontal (mortero hidrófugo / membrana)	2.06	m²	6,235.00	12,844.10
3.2	Aislación vertical en muros exteriores	3.44	m²	4,177.00	14,368.88
4	**Contrapisos y Carpetas**				
4.1	Contrapiso de cascote H° pobre 10 cm	15.60	m²	9,674.00	150,914.40
4.2	Carpeta de nivelación y terminación 2 cm	15.60	m²	3,183.00	49,654.80
5	**Revoques**				

5.1	Revoque exterior tradicional (grueso y fino)	75.92	m²	3,124.00	237,174.08
5.2	Revoque interior	75.92	m²	3,717.00	282,194.64
5.3	Cielorraso suspendido	15.60	m²	46,417.00	724,105.20
6	**Impermeabilizaciones**				
6.1	Membrana asfáltica techos/terrazas 4 mm	15.60	m²	6,790.00	105,924.00
6.2	Pinturas elastoméricas en superficies expuestas	75.92	m²	4,975.00	377,702.00
7	**Pinturas**				
7.1	Muro exterior	75.92	m²	10,575.00	802,854.00
7.2	Muro interior	75.92	m²	7,356.00	558,467.52
TOTAL					**31,326,940.68**

11.2. MÓDULO EN SISTEMA PROPUESTO

Para el sistema constructivo propuesto no fue posible recurrir a un índice oficial de costos equivalente al utilizado para la construcción tradicional. Por este motivo, el presupuesto se elaboró a partir de un cómputo métrico detallado de todos los componentes que conforman un módulo estructural.

En primer lugar, se determinaron las cantidades de perfiles metálicos necesarias según el modelo estructural desarrollado, considerando tanto vigas como columnas. Asimismo, se computaron las chapas empleadas en las distintas uniones y el material de aporte requerido para la ejecución de las soldaduras. Además, se incorporaron los materiales necesarios para la ejecución de las juntas entre módulos, ya que, si bien el análisis económico se realiza sobre un módulo individual, dichos componentes resultan indispensables para garantizar el correcto comportamiento del sistema constructivo una vez ensamblada la vivienda.

Los precios unitarios de los perfiles, chapas y demás elementos metálicos se obtuvieron a partir de valores comerciales vigentes publicados por proveedores especializados. A partir de estas cantidades y de los respectivos precios unitarios se confeccionó el presupuesto estimativo del módulo estructural.

En base a los precios comerciales relevados para los distintos materiales, se determinó el valor de cada uno de los ítems que conforman el módulo estructural y se elaboró un presupuesto estimativo. Como resultado, se obtuvo un costo total de $\$21.736.914{,}59$ (pesos veintiún millones setecientos treinta y seis mil novecientos catorce con cincuenta y nueve centavos). Considerando una superficie de $15{,}6\ m^2$ por módulo, el costo unitario del sistema constructivo propuesto resulta de $\$\ 1.393.39{,}96/m^2$.

El cómputo métrico y presupuesto desarrollado se presenta en la Tabla 44.

Tabla 44. Cómputo métrico y presupuesto para un módulo habitacional MH construido mediante el sistema propuesto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
1	**Perfilería**				
1.1	Perfil W8x24 - 12m	1.43	un	1,148,669.18	1,646,425.82
1.2	Perfil W4x13 - 12m	1.43	un	569,739.00	816,625.90
1.3	Perfil UPN180 - 6m	3.47	un	418,499.00	1,450,796.53
2	**Soldadura**				
2.1	Electrodo Fexx 480	48.52	kg	7,000.00	339,662.40
3	**Steel Framing**				
3.1	Paneles muro	75.92	m²	147,726.10	11,215,365.51
3.2	Paneles cubierta	15.60	m²	236,083.20	3,682,897.92
3.3	Junta entre módulos	15.60	m²	11,804.16	184,144.90
4	**Placas**				
4.1	Placa de acero A36 espesor de 15 mm	0.18	m²	77,357.61	304,188.00
4.2	Placa de acero A36 espesor 28 mm	1.19	m²	346,994.54	1,673,031.00
5	**Pinturas**				
5.1	Muro exterior	75.92	m²	3,670.00	278,626.40
5.2	Muro interior	75.92	m²	1,635.00	124,129.20
5.3	Cielorrasos	15.6	m²	1,347.50	21,021.00
TOTAL					**21,736,914.59**

11.3. COMPARACIÓN ENTRE AMBOS SISTEMAS

A partir de los presupuestos estimativos elaborados para ambas alternativas constructivas, se observa una diferencia económica favorable al sistema modular propuesto. Mientras que el módulo ejecutado mediante construcción tradicional presenta un costo estimado de $\$31.326.940{,}68$ ($\$2.008.137{,}22/m^2$), el módulo correspondiente al sistema modular posee un costo de $\$21.736.914{,}59$ ($\$1.393.39{,}96/m^2$).

Bajo las hipótesis adoptadas en el presente trabajo, estos resultados representan una reducción aproximada del 30,61% en el costo de materiales del módulo propuesto respecto de una solución equivalente ejecutada mediante construcción tradicional. Esta diferencia se encuentra asociada principalmente a la optimización en el uso de materiales y a la industrialización del proceso constructivo.

En consecuencia, la diferencia obtenida debe interpretarse como una ventaja económica preliminar del sistema modular bajo los criterios de análisis adoptados. La incorporación de los costos mencionados podría modificar el porcentaje de ahorro obtenido, aunque ello no

invalida la comparación realizada ni las conclusiones generales derivadas del presente estudio.

12. ANÁLISIS AMBIENTAL

El análisis ambiental constituye uno de los aspectos centrales del presente Trabajo Final, ya que el sistema constructivo propuesto tiene como principal objetivo reducir el impacto ambiental asociado a la construcción de viviendas respecto de los métodos tradicionales. En consecuencia, resulta necesario evaluar el desempeño de ambas alternativas mediante una metodología que permita identificar y comparar los principales impactos generados durante las distintas etapas del proceso constructivo.

Para ello se emplea la matriz de Leopold. La misma es una herramienta metodológica utilizada para identificar, analizar y valorar cualitativamente los impactos ambientales generados por un proyecto o actividad. A pesar de asimilarse a un análisis cuantitativo, estos indicadores se seleccionan de manera subjetiva, basándose en la experiencia y criterio técnico de los evaluadores por lo que conforma una herramienta cualitativa. Fue desarrollada por Luna B. Leopold en la década de 1970 y se ha consolidado como un instrumento fundamental en los estudios de impacto ambiental debido a su capacidad para organizar y sistematizar la información de manera clara y visual.

Esta matriz se presenta como una tabla de doble entrada en la que se listan las acciones o actividades del proyecto y los factores ambientales susceptibles de ser afectados (físicos, biológicos y socioeconómicos). Los factores físicos analizados son:

- Suelos;
- Ruido;
- Calidad del aire;
- Vibraciones;
- Residuos.

Mientras que los factores socioculturales considerados son:

- Tiempo de construcción;
- Costo económico de la obra;
- Seguridad laboral;
- Calidad de vida de los vecinos durante la ejecución.

Por otro lado, las actividades del proyecto son:

- Transporte de materiales o módulos;
- Acopio de materiales;
- Utilización de maquinaria y equipos pesados;

- Ejecución de la estructura;
- Ejecución de cerramientos;
- Consumo de agua;
- Consumo de energía;
- Generación de gases de efecto invernadero;
- Emisión de polvos.

En los entrecruzamientos se asignan notas del 0 al 10. La nota de la izquierda indica la magnitud de afectación, acompañada del signo + (impacto positivo) o - (impacto negativo), mientras que la de la derecha indica el impacto o alcance.

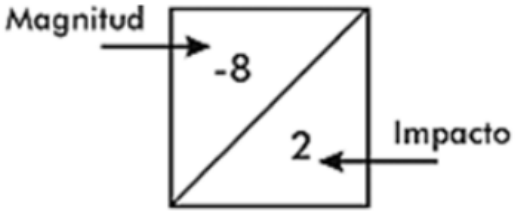


Figura 78. Nomenclatura de las Matrices de Leopold.

Posteriormente, se pueden realizar sumas ponderadas de las filas y columnas para identificar cuáles son los factores ambientales más afectados y cuáles son las acciones del proyecto que generan mayores impactos. Este análisis facilita la priorización de los aspectos que requieren atención inmediata y orienta el diseño de las medidas de mitigación más efectivas.

La escala adoptada para la valoración de impactos es la presentada en la Tabla 45.

Tabla 45. Escala de valoración de impactos.

VALORACIÓN DE IMPACTOS	
Bajo	1 – 30
Medio	31 – 61
Severo	61 – 92
Critico	> 93

Con el fin de realizar una comparación objetiva, se elabora una matriz de Leopold independiente para cada sistema constructivo: una correspondiente al sistema tradicional de hormigón armado y otra al sistema modular propuesto. Posteriormente, se comparan los resultados obtenidos, identificando las ventajas y desventajas ambientales de cada alternativa y evaluando su desempeño global.

12.1. MATRIZ DE LEOPOLD – CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

En la Matriz de Leopold correspondiente al sistema de construcción tradicional de la Figura 79, se observa que el factor ambiental con mayor magnitud de impacto es la calidad del aire, seguido por la calidad de vida de los vecinos. Ambos se ubican dentro del rango medio de la escala de valoración, lo que evidencia que constituyen los aspectos sobre los cuales resulta prioritario implementar medidas de mitigación durante la ejecución de la obra.

Respecto de las actividades del proyecto, las de mayor intensidad corresponden a la construcción de la estructura, el uso de maquinarias y equipos pesados y la ejecución de cerramientos. Estas actividades concentran los principales impactos ambientales del sistema constructivo, debido principalmente a la generación de emisiones de polvo, ruido, vibraciones y mayores tiempos de permanencia de la obra en el sitio.

	Factores \ Acciones	Ejecucion de Obra									
		Trasnporte de materiales	Acopio de materiales	Uso de maquinaria y equipos pesados	Construccion de estructuras	Ejecucion de cerramientos	Consumo electrico	Emision de GEI	Emision de polvo	Total Magnitud	Incidencia
Fisico	Suelos		-6 / 3	-4 / 4						-12	Bajo
	Ruido	-2 / 4		-7 / 7	-8 / 7	-6 / 5				-23	Bajo
	Calidad del aire	-4 / 4	-7 / 7	-3 / 7	-8 / 8	-5 / 5	-2 / 6	-7 / 6	-8 / 7	-44	Medio
	Vibraciones	-4 / 2		-7 / 5	-7 / 5					-18	Bajo
	Residuos		-2 / 3	-4 / 4	-8 / 5	-2 / 3				-16	Bajo
Sociocultural	Tiempo de construccion	-2 / 2			-8 / 5	-5 / 4				-15	Bajo
	Costo economico	-4 / 2			-8 / 3	-5 / 3				-17	Bajo
	Seguridad laboral				-6 / 3	-4 / 3				-10	Bajo
	Calidad de vida de los vecinos durante la ejecucion		-3 / 7	-5 / 7	-9 / 8	-6 / 7		-6 / 6	-8 / 7	-37	Medio
	Total intensidad	14	20	34	44	30	6	12	14		
	Incidencia	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo		

Figura 79. Matriz de Leopold del sistema de construcción tradicional.

12.2. MATRIZ DE LEOPOLD – SISTEMA PROPUESTO

En el caso del sistema constructivo modular, representado en la Figura 80, todos los factores ambientales evaluados se ubican dentro del rango bajo de la escala de magnitudes. El impacto de mayor valor corresponde a las vibraciones, seguido por la calidad del aire, el ruido y la calidad de vida de los vecinos.

En cuanto a las actividades del proyecto, las mayores intensidades se asocian a la construcción de la estructura y al uso de maquinaria y equipos pesados, debido principalmente al montaje mediante grúas. No obstante, estos impactos permanecen dentro del rango bajo

de valoración. Asimismo, se observa que las actividades de acopio de materiales y ejecución de cerramientos presentan impacto nulo, ya que los módulos son fabricados y acondicionados en fábrica, llegando a la obra prácticamente terminados. Esta característica reduce significativamente la cantidad de tareas ejecutadas en el sitio, disminuyendo los impactos ambientales asociados a la etapa constructiva.

	Factores \ Acciones	Ejecucion de Obra								Total Magnitud	Incidencia
		Trasnporte de materiales	Acopio de materiales	Uso de maquinaria y equipos pesados	Construccion de estructuras	Ejecucion de cerramientos	Consumo electrico	Emision de GEI	Emision de polvo		
Fisico	Suelos			-2 / 4						-2	Bajo
	Ruido	-2 / 4		-5 / 5	-6 / 5					-13	Bajo
	Calidad del aire	-2 / 3		-2 / 5	-2 / 4		-2 / 6	-5 / 5	-3 / 5	-16	Bajo
	Vibraciones	-5 / 2		-6 / 4	-6 / 4					-17	Bajo
	Residuos			-2 / 4	-3 / 3					-5	Bajo
Sociocultural	Tiempo de construccion	-2 / 2			-3 / 4					-5	Bajo
	Costo economico	-2 / 2			-5 / 3					-7	Bajo
	Seguridad laboral				-2 / 2					-2	Bajo
	Calidad de vida de los vecinos durante la ejecucion			-3 / 5	-4 / 4			-3 / 5	-3 / 5	-13	Bajo
	Total intensidad	13	0	27	29	0	6	10	10		
	Incidencia	Bajo	Nulo	Bajo	Baja	Nulo	Bajo	Bajo	Bajo		

Figura 80. Matriz de Leopold del sistema de construcción modular.

12.3. COMPARACIÓN DE SISTEMAS

La comparación entre ambas matrices de Leopold permite observar una diferencia clara en la magnitud e intensidad de los impactos ambientales generados por cada sistema constructivo. Mientras que la construcción tradicional presenta varios factores y actividades dentro del rango medio de valoración, el sistema modular concentra la totalidad de sus impactos en el rango bajo, evidenciando un mejor desempeño ambiental durante la etapa de ejecución.

Esta diferencia se explica principalmente por el mayor grado de industrialización del sistema modular, que traslada gran parte de las tareas constructivas a una planta de fabricación. Como consecuencia, se reduce significativamente la cantidad de actividades desarrolladas en obra, disminuyendo la generación de polvo, residuos, ruido y la afectación sobre el entorno y la calidad de vida de los vecinos. Asimismo, la eliminación de etapas como

el acopio de materiales y la ejecución de cerramientos en el sitio de implantación contribuye a reducir aún más la intensidad de los impactos.

Si bien ambos sistemas presentan impactos asociados a la construcción de la estructura y al empleo de maquinaria pesada, en el sistema modular estos se limitan principalmente a las tareas de transporte y montaje de los módulos, las cuales se desarrollan en un período considerablemente menor que en la construcción tradicional. En consecuencia, el análisis realizado mediante la Matriz de Leopold permite concluir que el sistema modular constituye una alternativa ambientalmente más favorable, al reducir tanto la magnitud como la intensidad de los impactos generados durante la etapa constructiva.

13. CONCLUSIÓN

Al comenzar este Trabajo Final se planteó como objetivo desarrollar un sistema constructivo que permitiera disminuir los impactos ambientales y los tiempos de ejecución respecto de la construcción tradicional. A partir del análisis realizado se concluyó que un sistema de construcción modular totalmente prefabricado, con estructura metálica, constituye una alternativa técnicamente y ambientalmente viable para responder a dicha problemática.

Durante el desarrollo del proyecto se diseñó un módulo estructural tipo, concebido para ser replicado y permitir la conformación tanto de una vivienda unifamiliar como de un edificio de cinco niveles. Uno de los principales condicionantes del diseño fue la normativa vigente para el transporte de cargas, la cual estableció las dimensiones máximas admisibles para los módulos. A partir de esta restricción se definió la arquitectura de ambas tipologías, procurando que la cantidad total de módulos fuera par en cada caso, de modo de optimizar la logística de traslado. Esta decisión permitió transportar dos módulos por viaje, mejorando la eficiencia del sistema y reduciendo costos e impactos asociados al transporte.

Posteriormente, se realizó el predimensionado de los elementos estructurales considerando como caso más desfavorable el módulo perteneciente al edificio proyectado. A partir de dicho predimensionado se efectuaron las verificaciones reglamentarias de resistencia de vigas y columnas, así como el diseño y cálculo de las uniones y de la placa base, comprobando que todos los elementos satisfacen las exigencias establecidas por la normativa vigente y garantizan un comportamiento estructural adecuado tanto durante la vida útil de la estructura como en las etapas de transporte y montaje.

Desde el punto de vista económico, el análisis comparativo realizado evidenció que el sistema constructivo propuesto presenta una reducción aproximada del 24% respecto de una solución equivalente ejecutada mediante construcción tradicional. Esta diferencia se encuentra asociada principalmente a la industrialización del proceso constructivo, la disminución de tareas ejecutadas en obra y la optimización en la utilización de materiales y mano de obra.

Por otra parte, el análisis ambiental efectuado mediante la Matriz de Leopold permitió comprobar que el sistema modular genera impactos ambientales de menor magnitud durante la etapa constructiva. La reducción de actividades realizadas en obra, la eliminación del acopio de materiales y de gran parte de los trabajos húmedos, junto con la disminución de residuos,

emisiones de polvo, ruido y tiempos de ejecución, posicionan a la construcción modular como una alternativa más sostenible frente a los sistemas constructivos tradicionales.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten afirmar que se alcanzaron los objetivos planteados al inicio del trabajo, desarrollando una propuesta que integra criterios estructurales, económicos, logísticos y ambientales dentro de un único sistema constructivo.

Finalmente, el grupo considera que la instancia del Trabajo Final representó una experiencia integradora que permitió aplicar de manera conjunta los conocimientos adquiridos durante la carrera para resolver un problema de ingeniería real. Asimismo, reafirmó la importancia del rol del ingeniero civil como profesional capaz de desarrollar soluciones técnicamente seguras, económicamente viables y ambientalmente responsables, contribuyendo al bienestar de la sociedad mediante una construcción cada vez más eficiente y sostenible.

14. BIBLIOGRAFÍA

American Institute of Steel Construction. (2023). Steel construction manual (16th ed.). American Institute of Steel Construction.

Arellano Díaz, J., & Guzmán Pantoja, J. (2011). Ingeniería ambiental. Alfaomega.

Audizio, N., Prieto, M., & Sánchez, P. (2017). Trabajo final de grado.

Colegio Profesional de Arquitectos de la Provincia de Córdoba. (2026). Costo de rubros en obras de arquitectura: Febrero 2026.

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC). (2005). Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones (CIRSOC 102). Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC). (2018). Reglamento argentino de estructuras de acero para edificios (CIRSOC 301). Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC). (2018). Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I: Construcciones en general (CIRSOC 103). Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC). (2024). Proyecto de Reglamento CIRSOC 201: Reglamento argentino de estructuras de hormigón. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC). (2005). Reglamento argentino de acciones permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras (CIRSOC 101). Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

Concejo Deliberante de la Ciudad de Córdoba. (2021). Ordenanza N.° 12.648.

Constitución de la Nación Argentina. (1994).

International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015. Quality management systems—Requirements.

International Organization for Standardization. (2015). ISO 14001:2015. Environmental management systems—Requirements with guidance for use.

Ley N.° 24.051. (1992) Residuos peligrosos. Boletín Oficial de la República Argentina, 17 de enero de 1992.

Ley N.° 24.449. (1995) Ley nacional de tránsito. Boletín Oficial de la República Argentina, 8 de febrero de 1995.

Ley N.° 25.675. (2002) Ley general del ambiente. Boletín Oficial de la República Argentina, 28 de noviembre de 2002.

Ley N.° 25.916. (2004) Gestión integral de residuos domiciliarios. Boletín Oficial de la República Argentina, 7 de septiembre de 2004.

Ley Provincial N.° 8.560. (1995) Código de Tránsito de la Provincia de Córdoba. (1995).

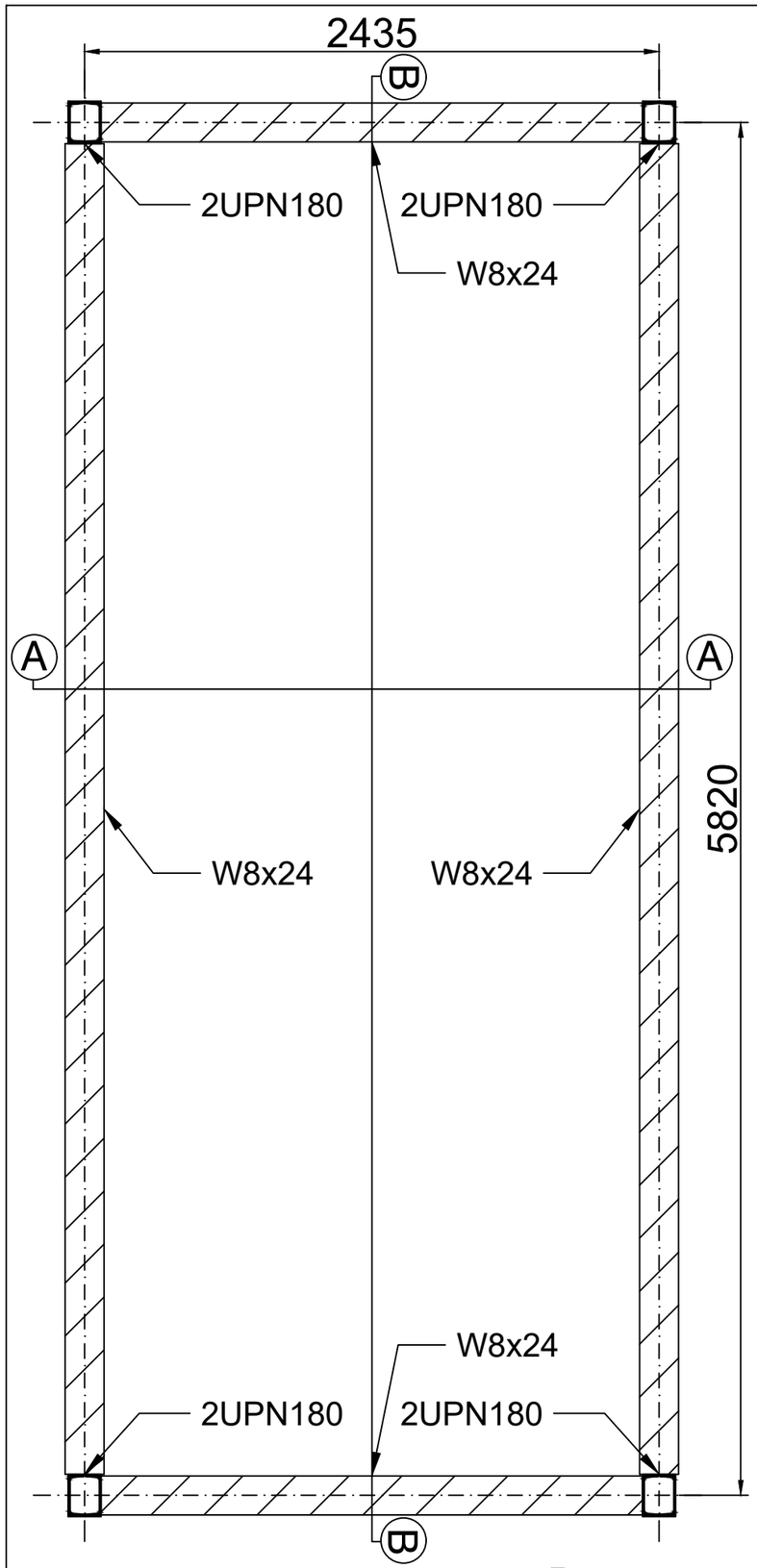
Massolo, L. (2015). Introducción a las herramientas de gestión ambiental. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.

Molina, M. (2022). Arquitectura y ambiente desde el enfoque del análisis de ciclo de vida: Caso de estudio la ciudad de Córdoba, Argentina. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación, (175), 119–122.

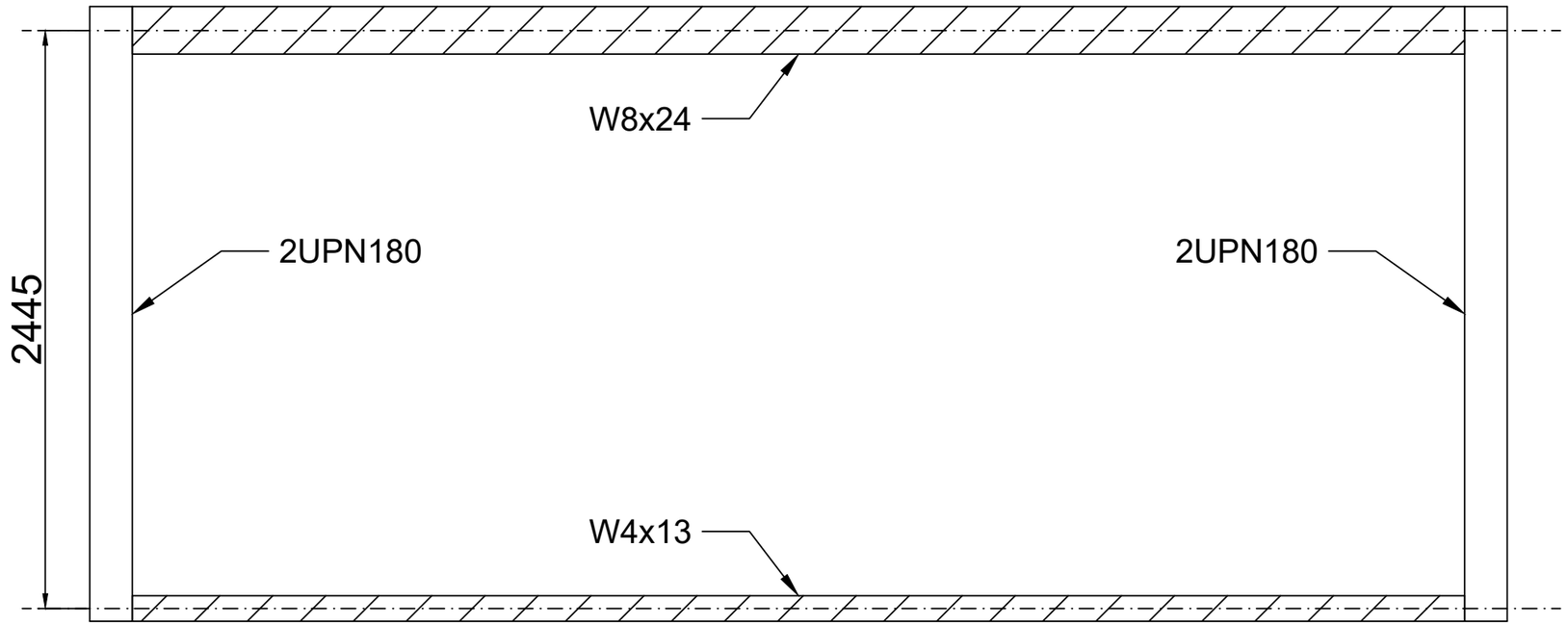
Pedrazzi, F. (2023). Sustentabilidad, construcción en seco y steel framing. Textos de Tecnología, (6), 125–132.

Troglia, G. (2018). Estructuras metálicas: Proyecto por estados límites (8.ª ed.). Universidad Católica de Salta.

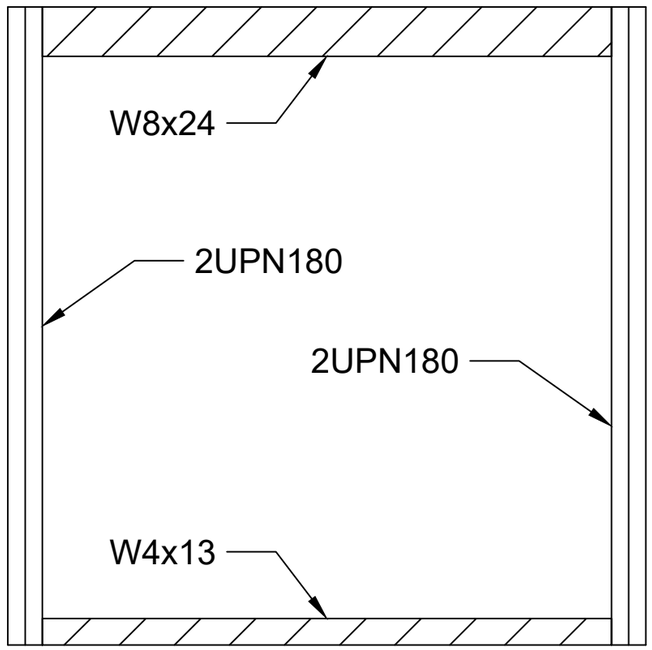
15. ANEXOS



Planta

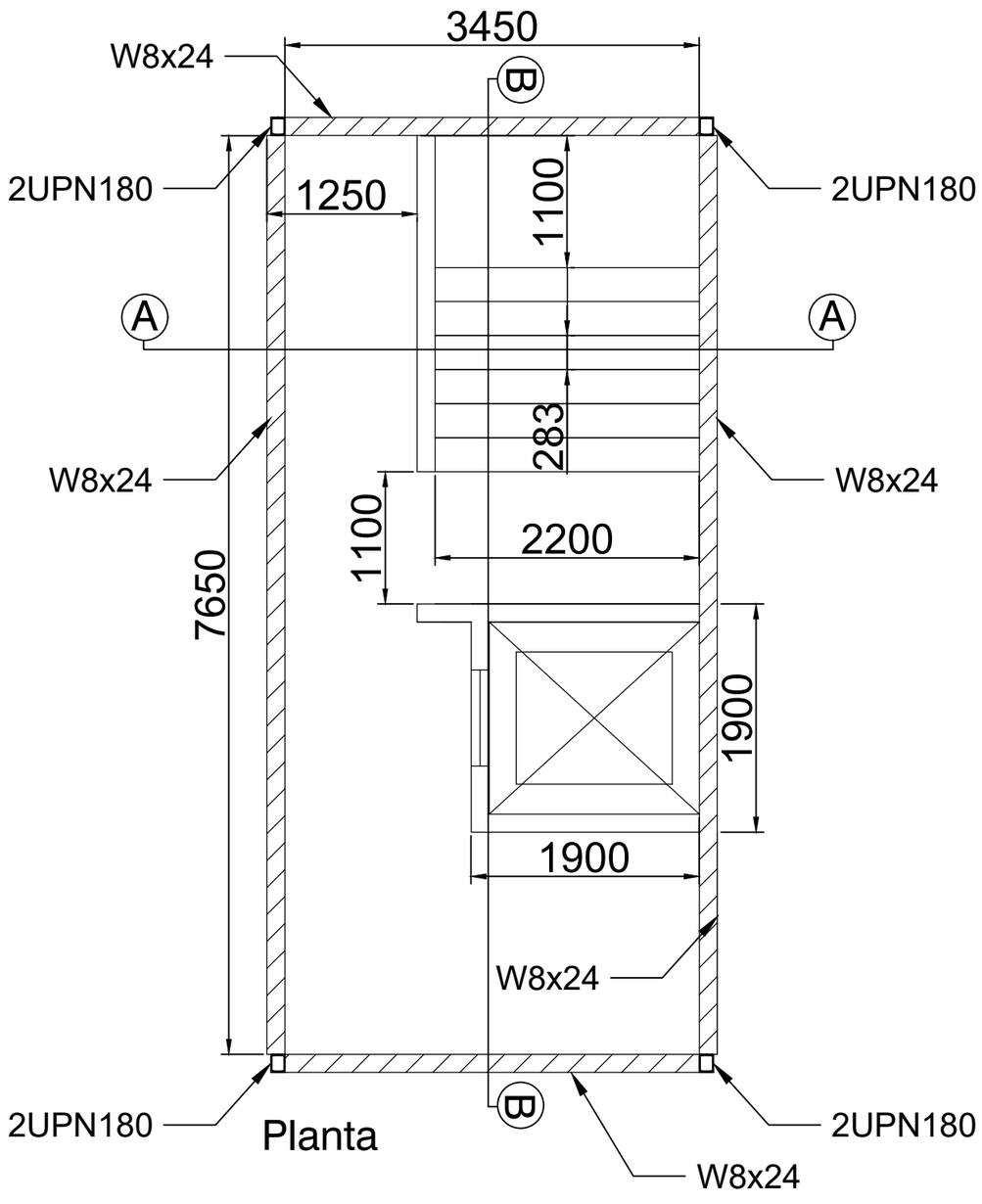


Corte B-B

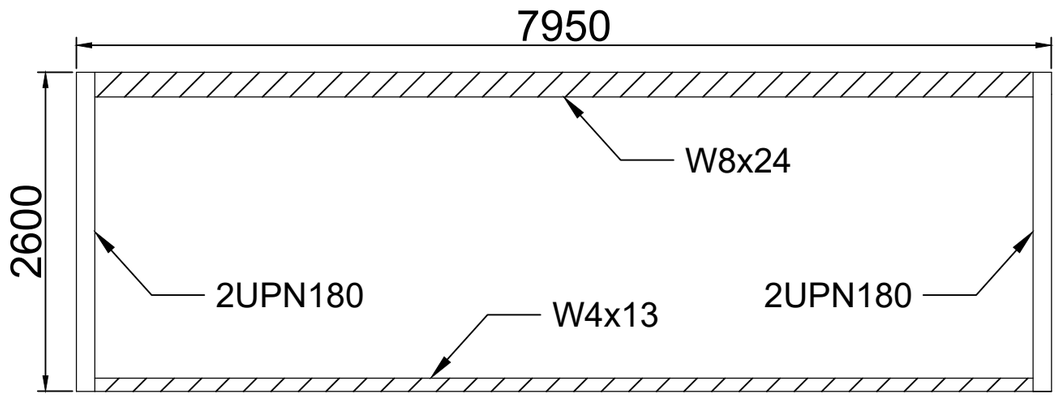


Corte A-A

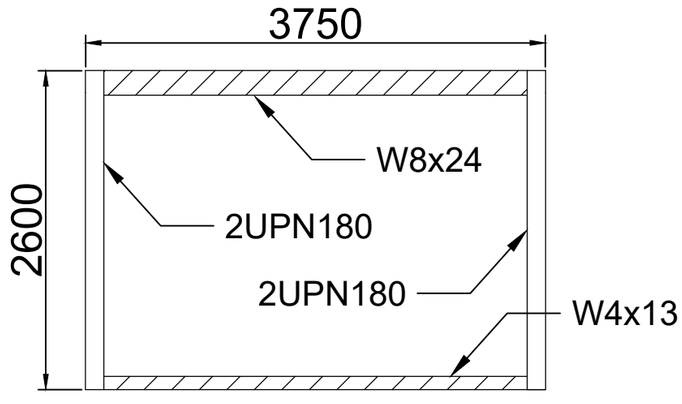
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:25	Nº DE PLANO: 1/18
CONTENIDO DEL PLANO: MÓDULO HABITACIONAL	



Planta

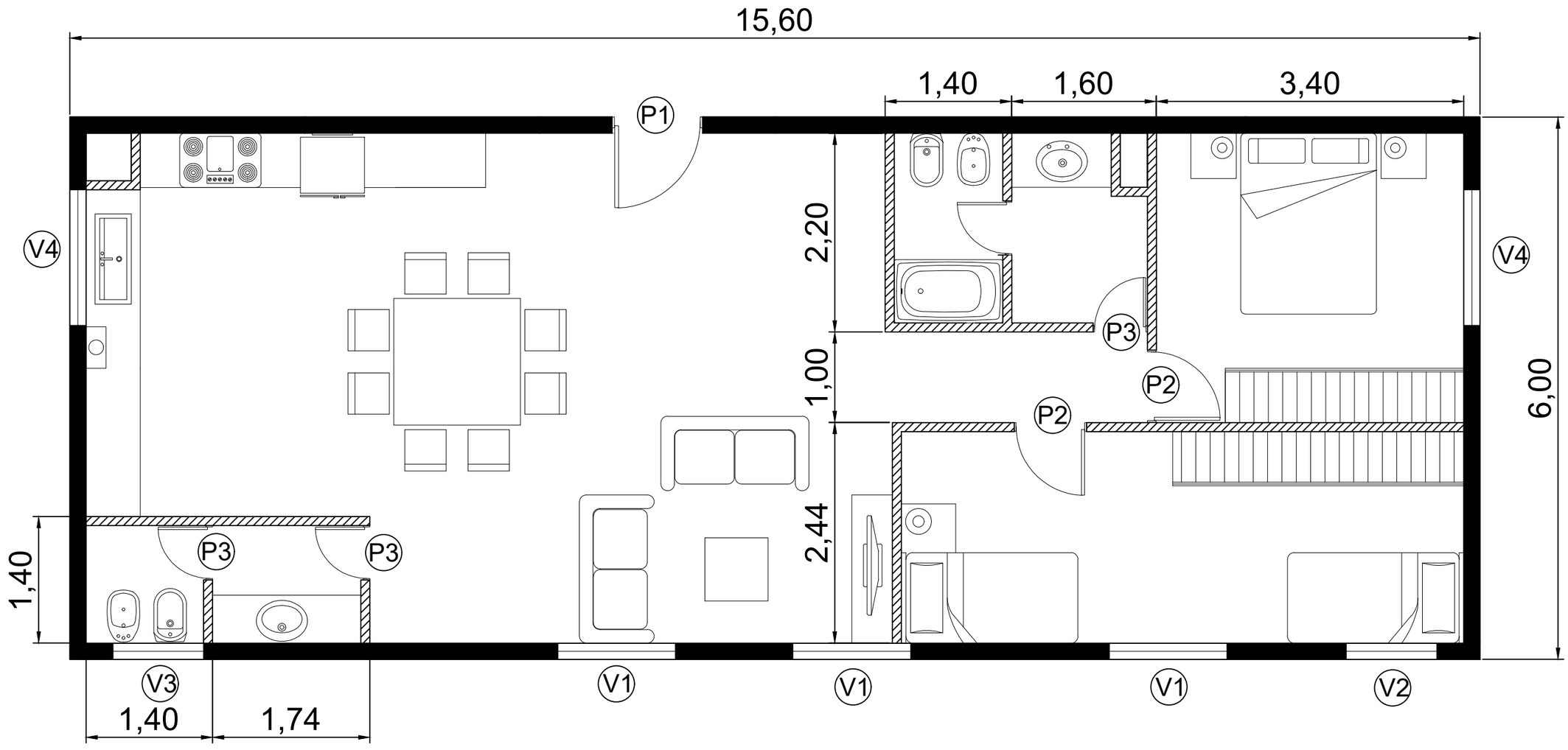


Corte B-B

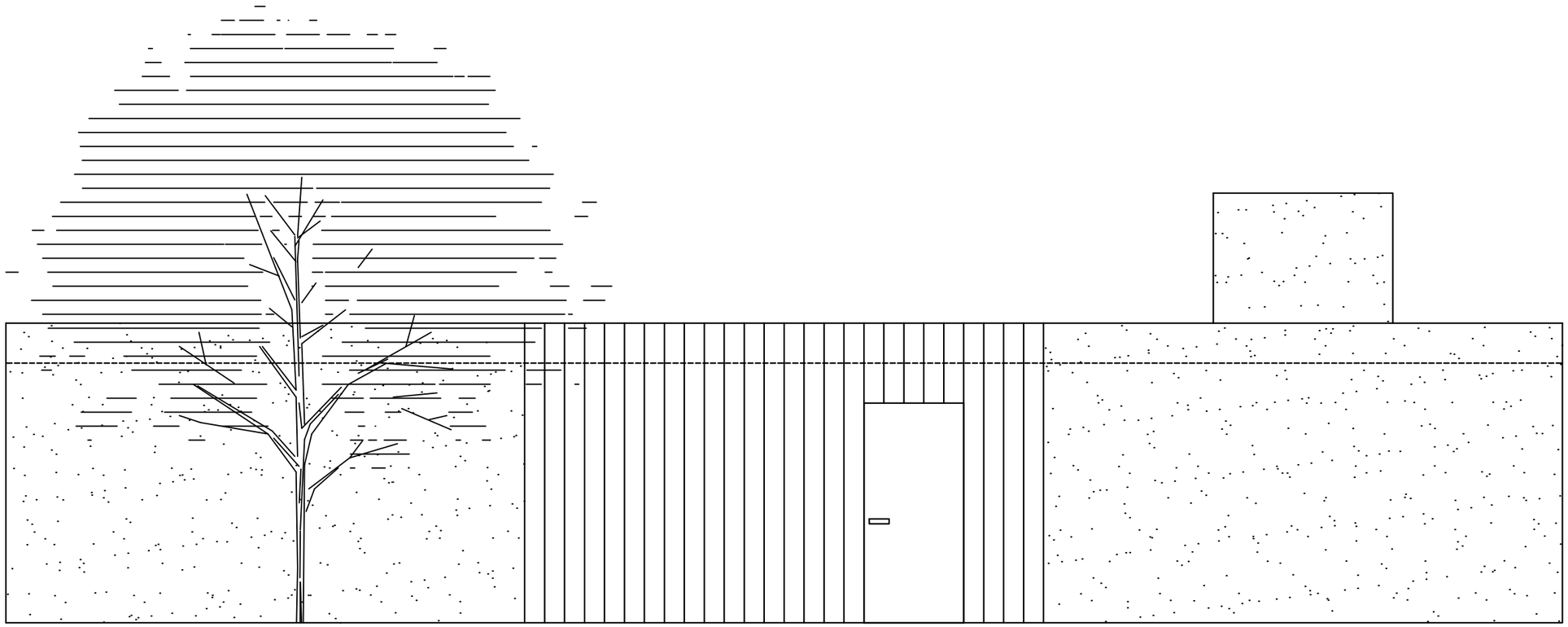


Corte A-A

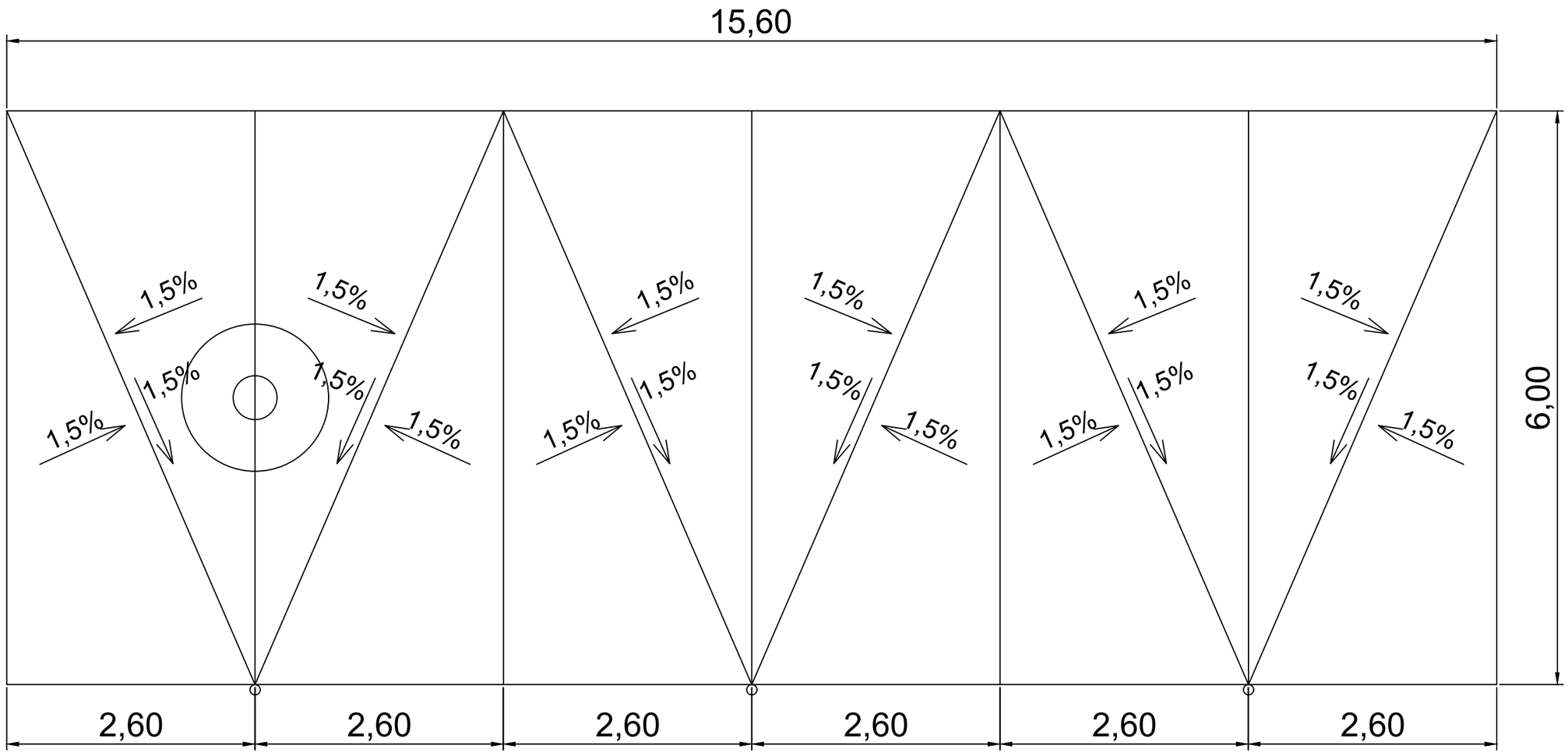
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:50	Nº DE PLANO: 2/18
CONTENIDO DEL PLANO: NÚCLEO VERTICAL	



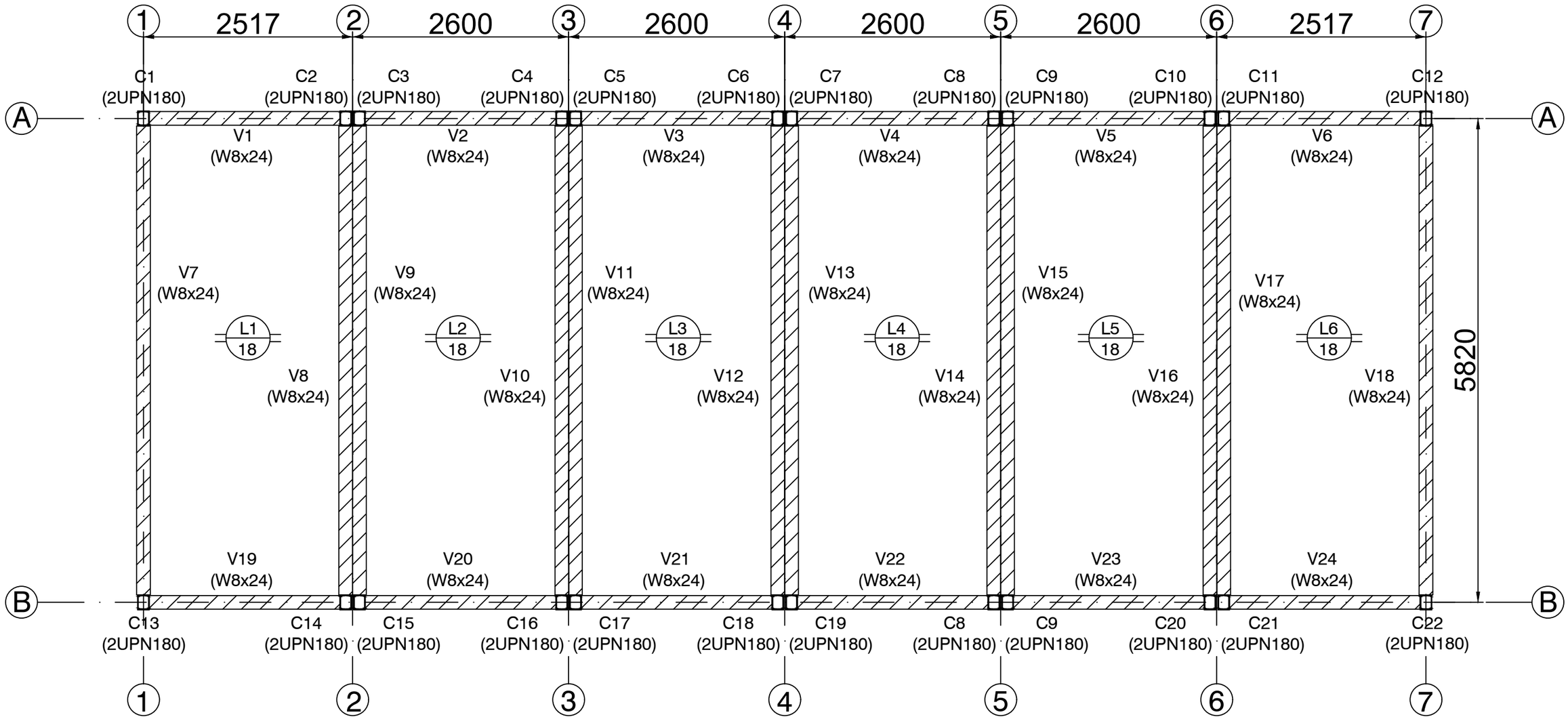
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:50	Nº DE PLANO: 3/18
CONTENIDO DEL PLANO: VIVIENDA - PLANTA DE ARQUITECTURA	



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:50	Nº DE PLANO: 4/18
CONTENIDO DEL PLANO: VIVIENDA - FACHADA FRONTAL	

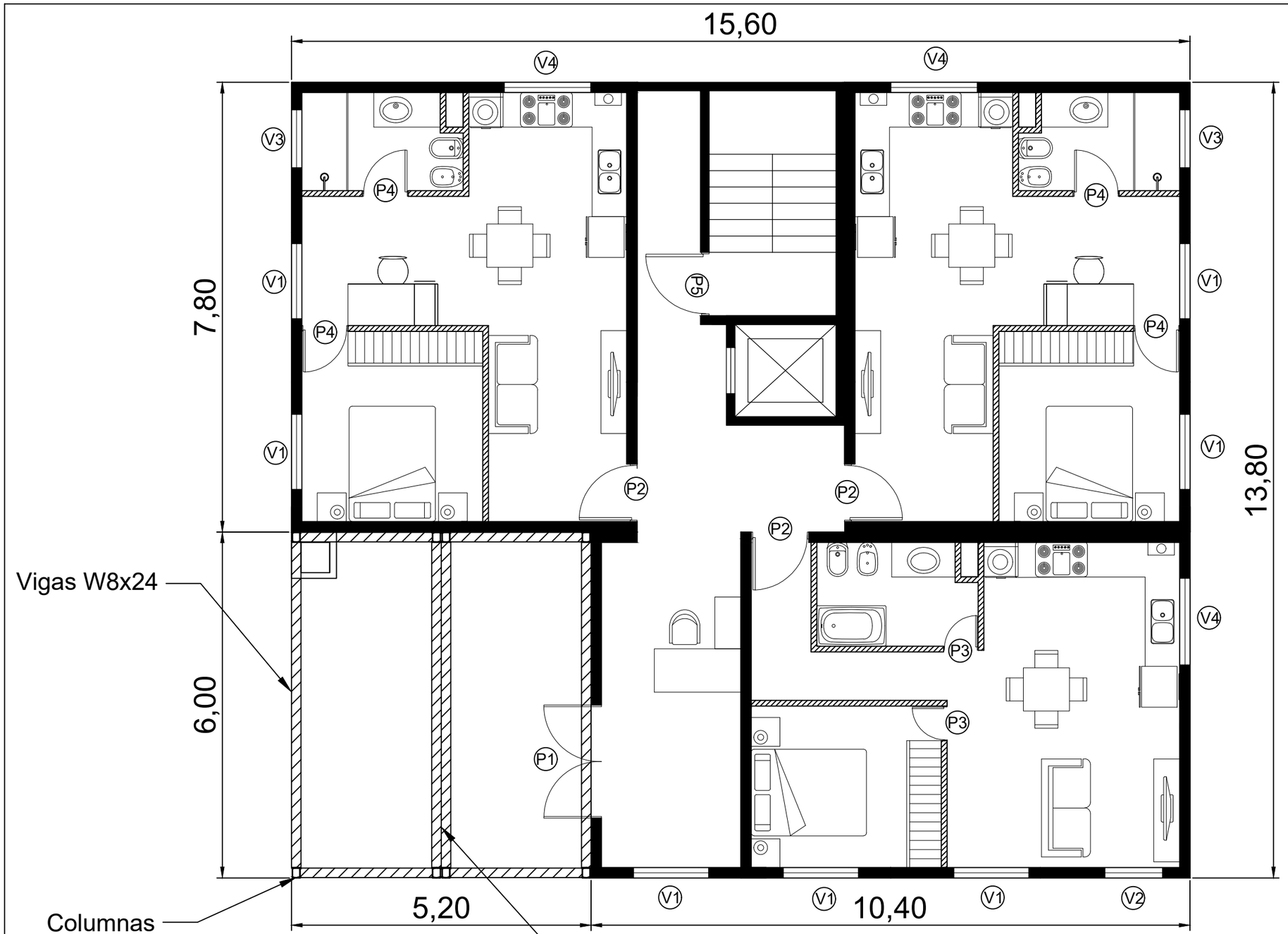


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:50	Nº DE PLANO: 5/18
CONTENIDO DEL PLANO: VIVIENDA - PLANTA DE TECHOS	

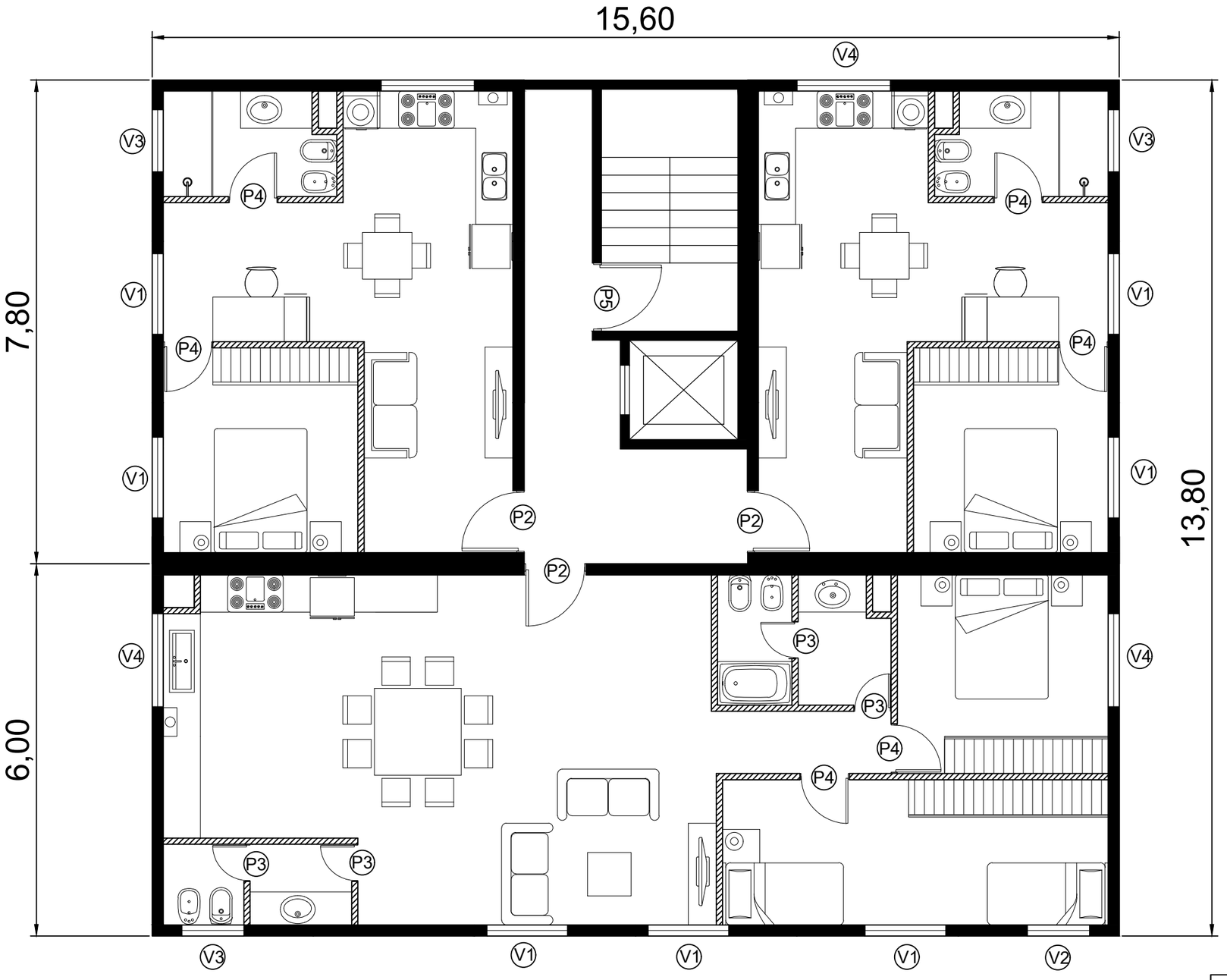


Nota: Las losas 1 a 6 son de material Steel Framing.

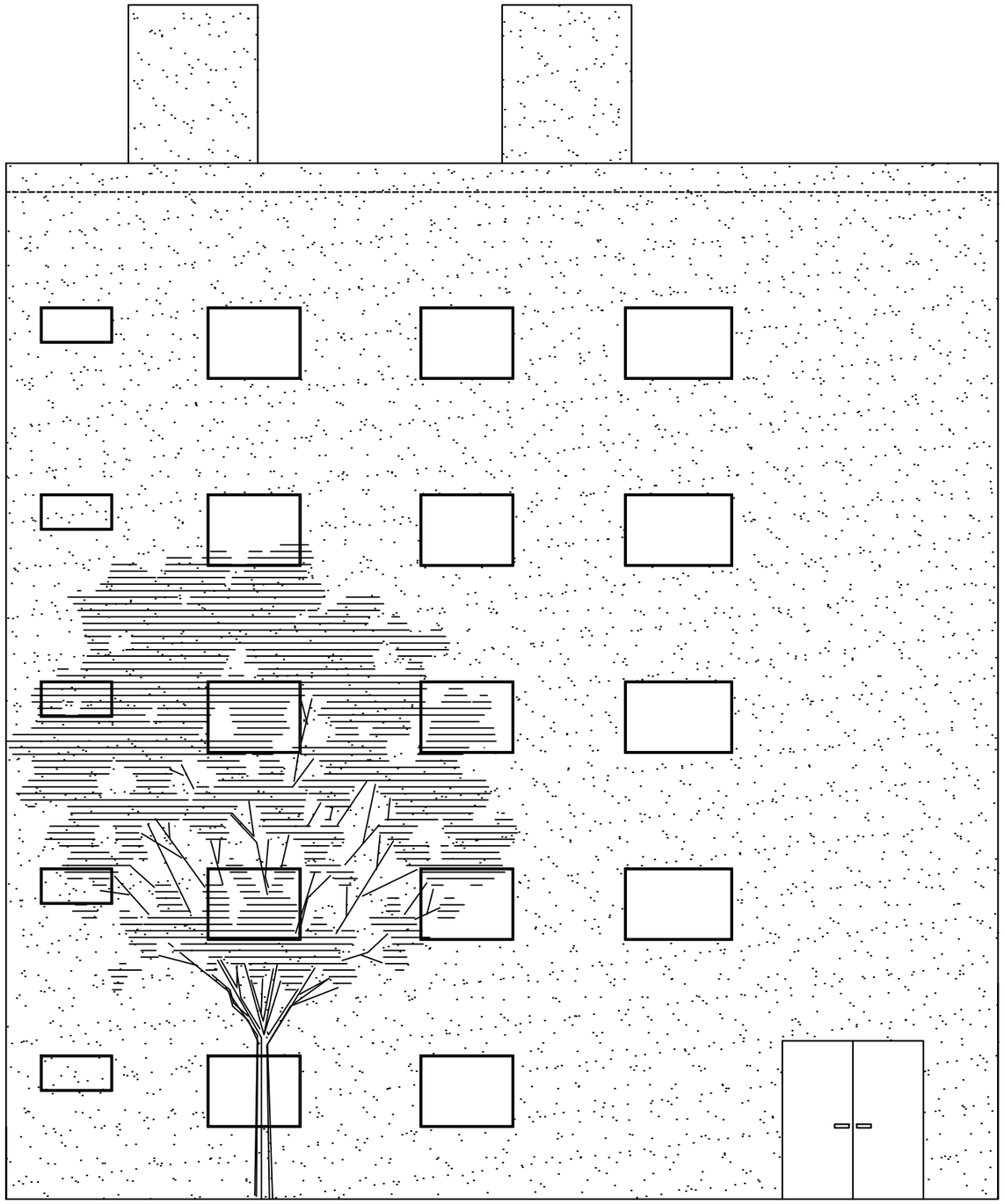
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:50	Nº DE PLANO: 6/18
CONTENIDO DEL PLANO: VIVIENDA - PLANTA DE ESTRUCTURA	



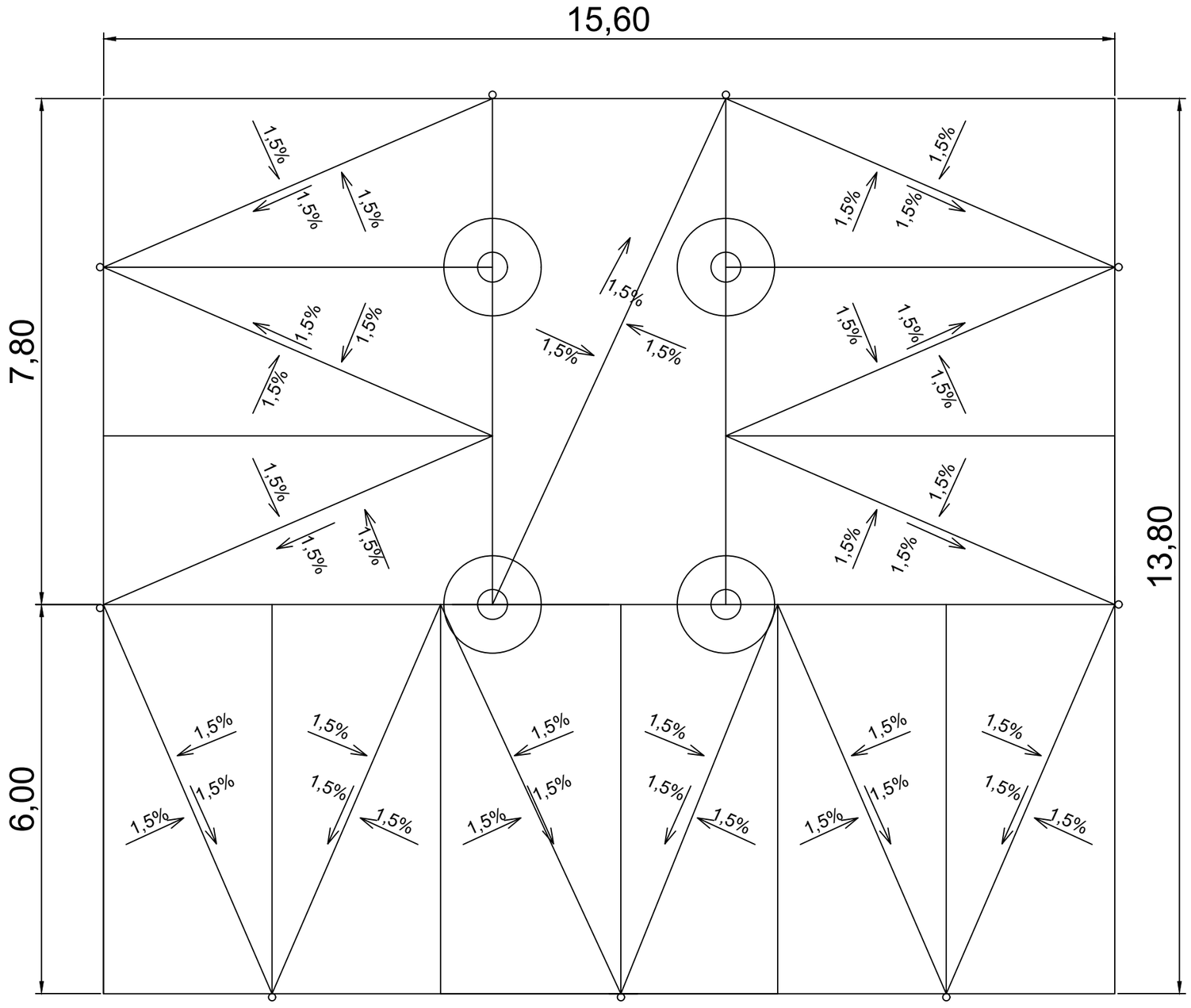
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:75	Nº DE PLANO: 7/18
CONTENIDO DEL PLANO: EDIFICIO - ARQUITECTURA PLANTA BAJA	



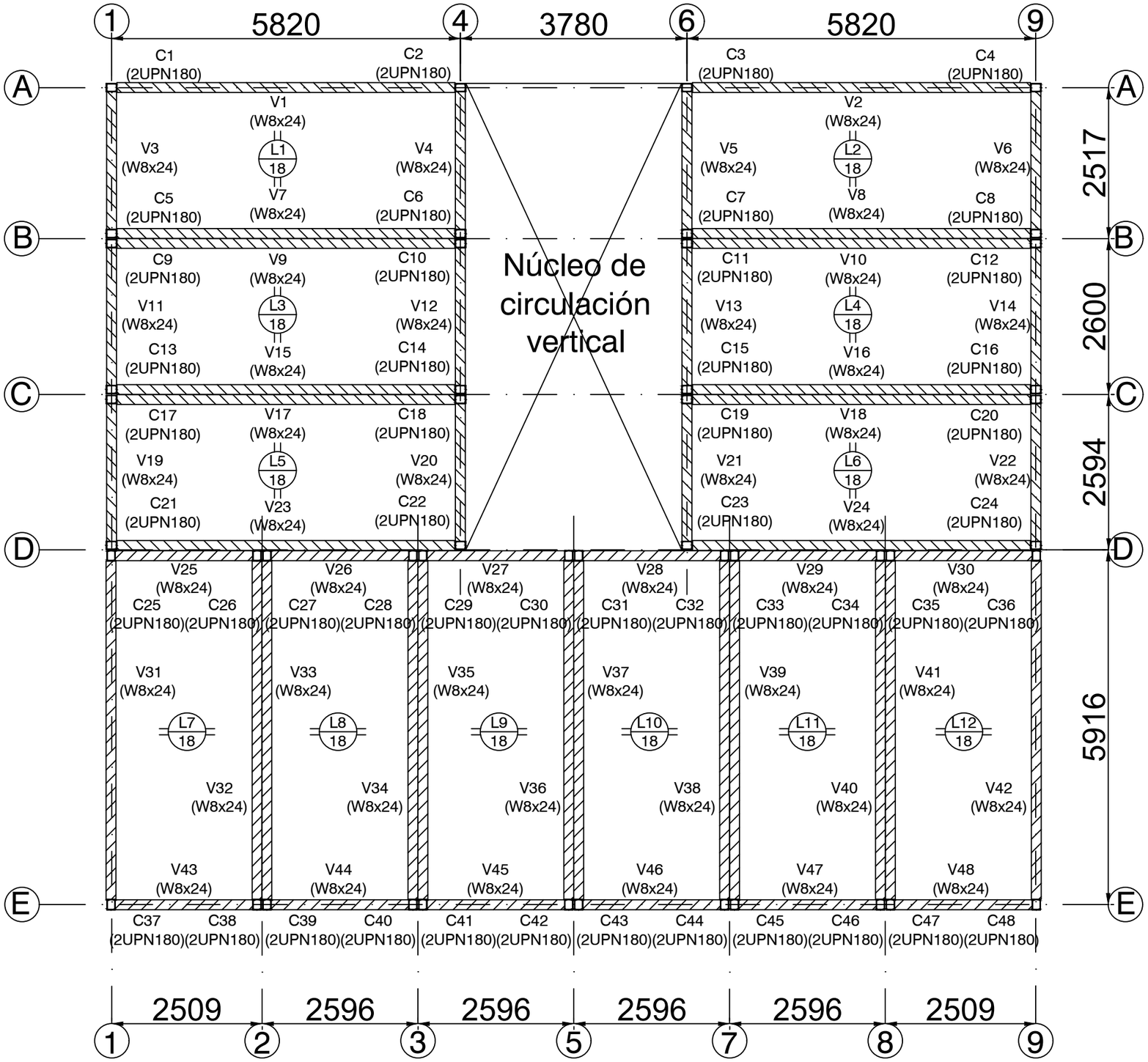
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:75	Nº DE PLANO: 8/18
CONTENIDO DEL PLANO: EDIFICIO - ARUITECTURA PLANTA TIPO	



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:75	Nº DE PLANO: 9/18
CONTENIDO DEL PLANO: EDIFICIO - FACHADA FRONTAL	

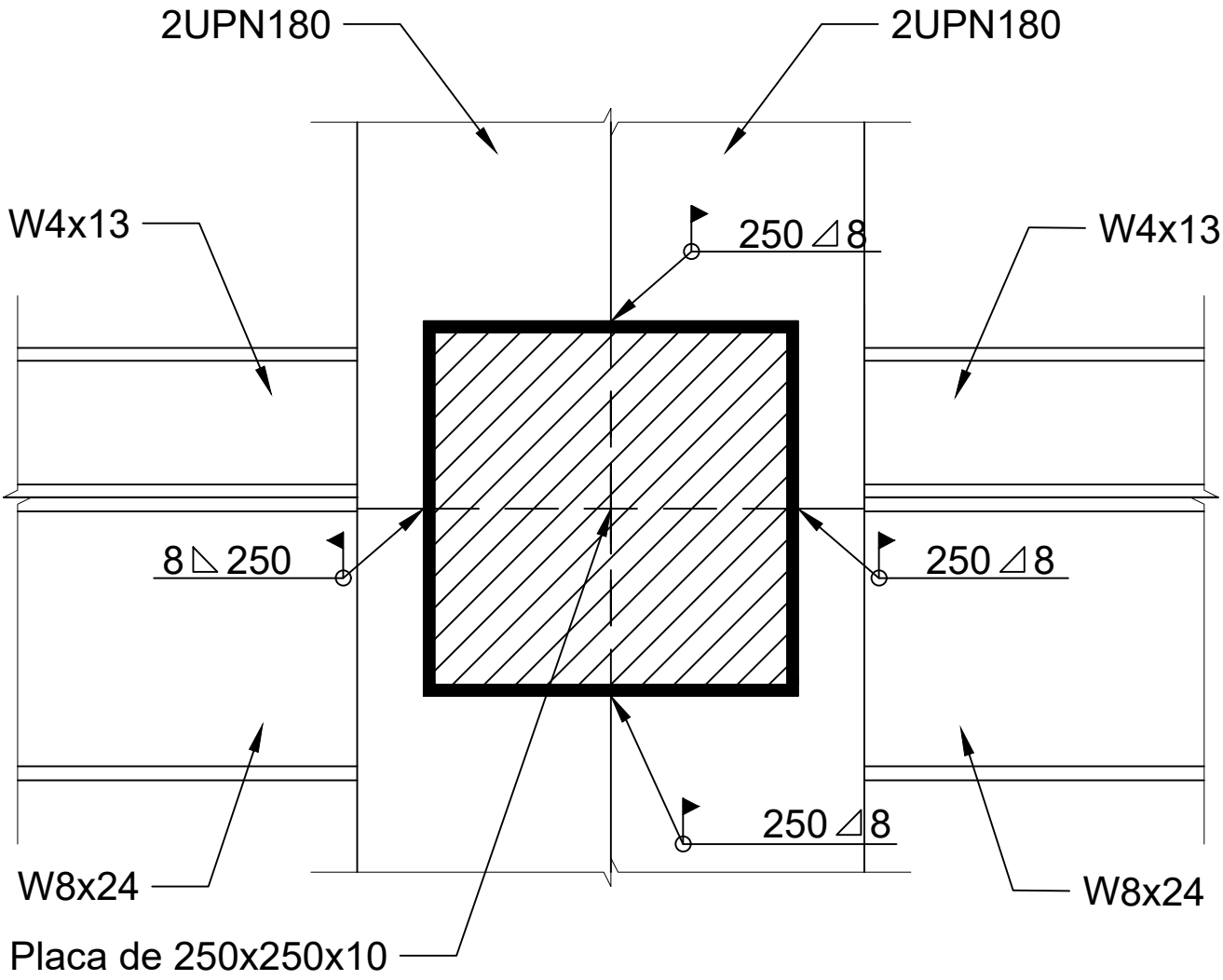


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:75	Nº DE PLANO: 10/18
CONTENIDO DEL PLANO: EDIFICIO - PLANTA DE TECHOS	

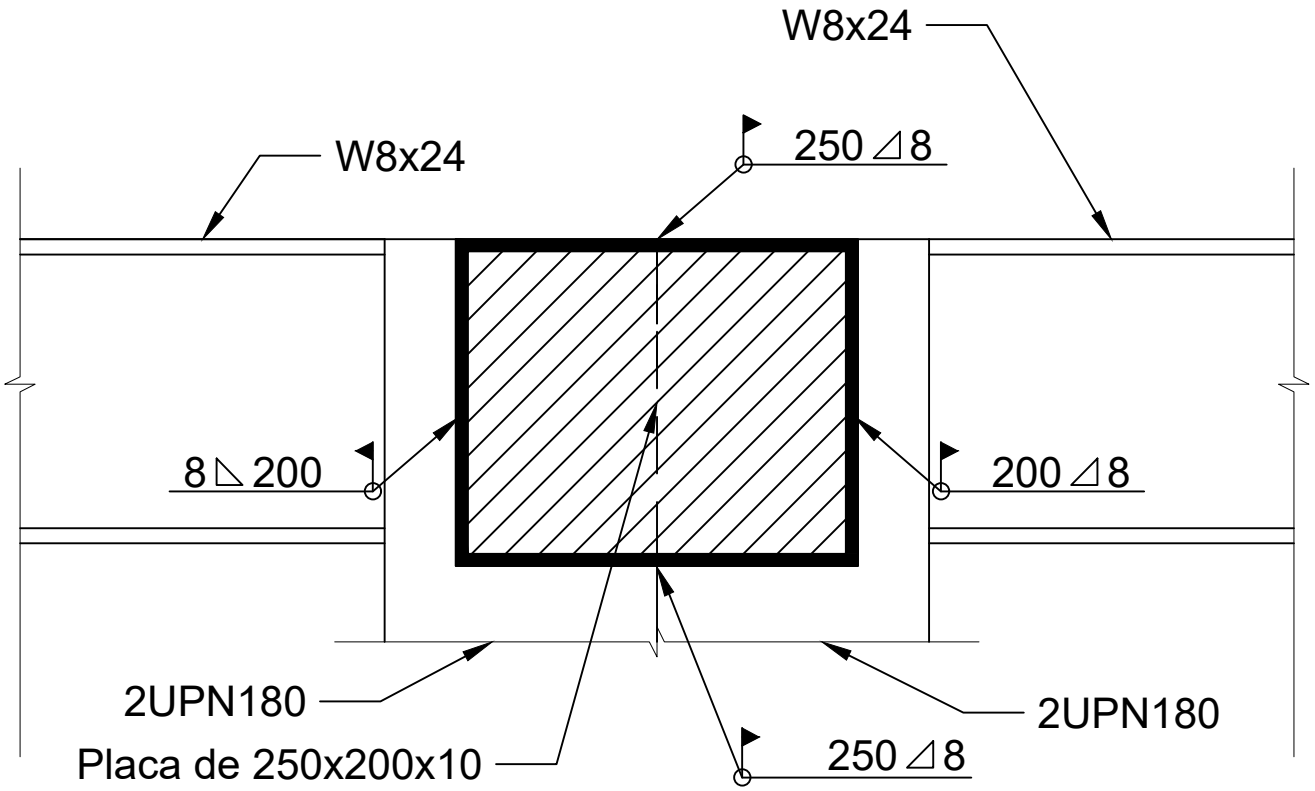


Nota: Las losas 1 a 12 son de material Steel Framing, tanto para aquellas correspondientes a entrepiso como a las de cubierta.

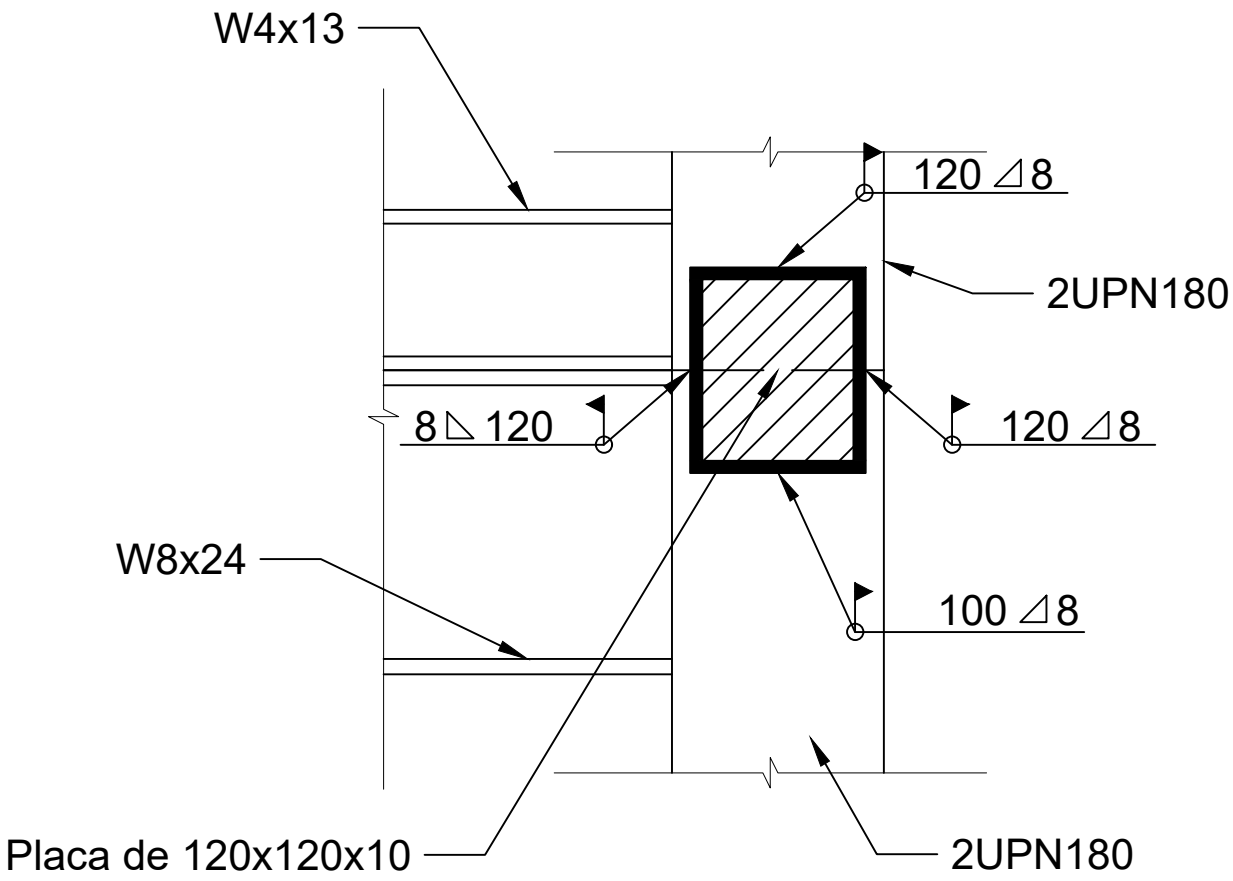
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:75	Nº DE PLANO: 11/18
CONTENIDO DEL PLANO: EDIFICIO - PLANTA DE ESTRUCTURA	



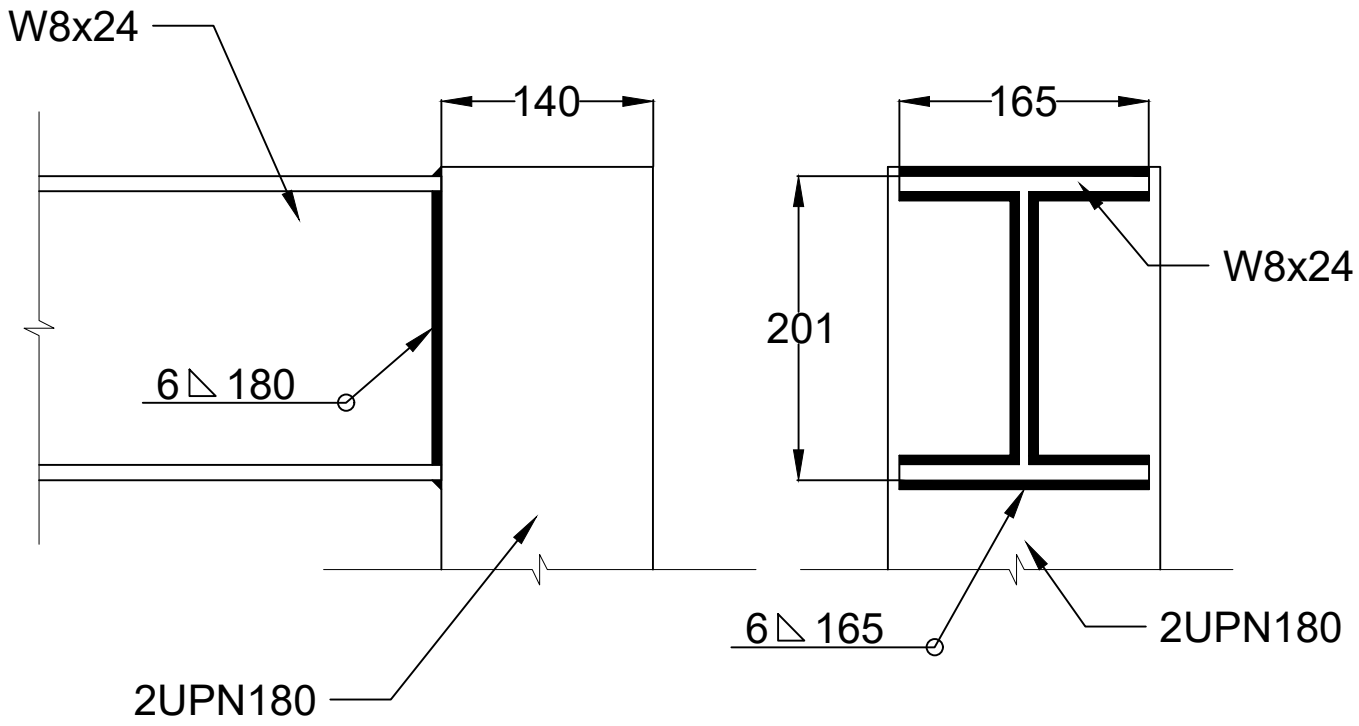
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 12/18
CONTENIDO DEL PLANO: UNIÓN ENTRE MÓDULOS DE PISOS INTERMEDIOS	

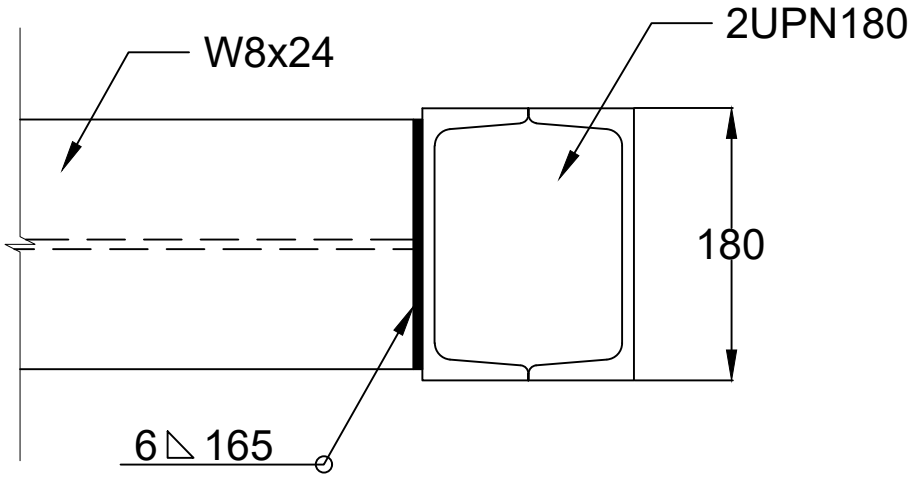


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 13/18
CONTENIDO DEL PLANO: UNIÓN ENTRE MÓDULOS DE ÚLTIMO PISO Y VIVIENDA	

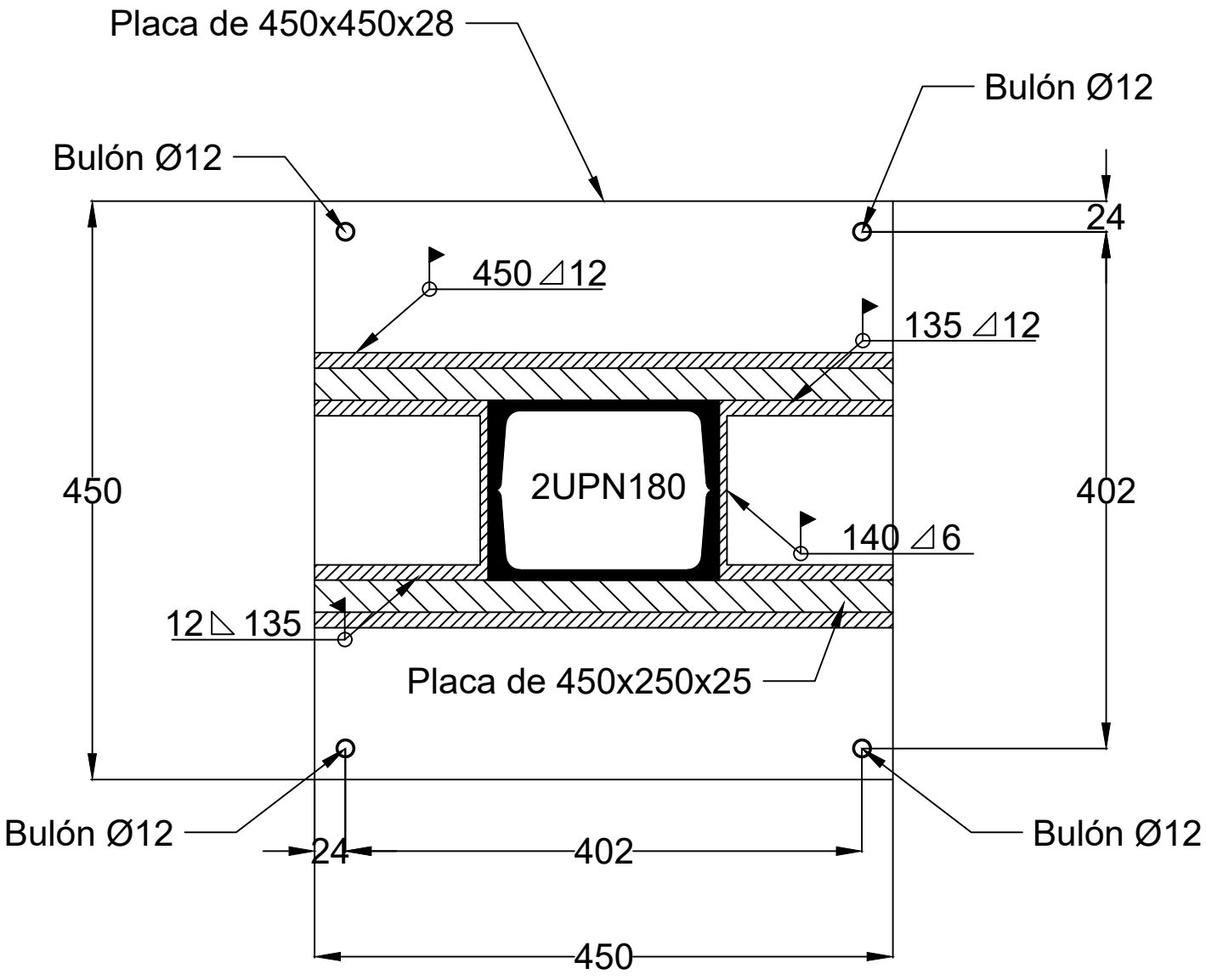


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 14/18
CONTENIDO DEL PLANO: UNIÓN ENTRE MÓDULOS DE ESQUINA	

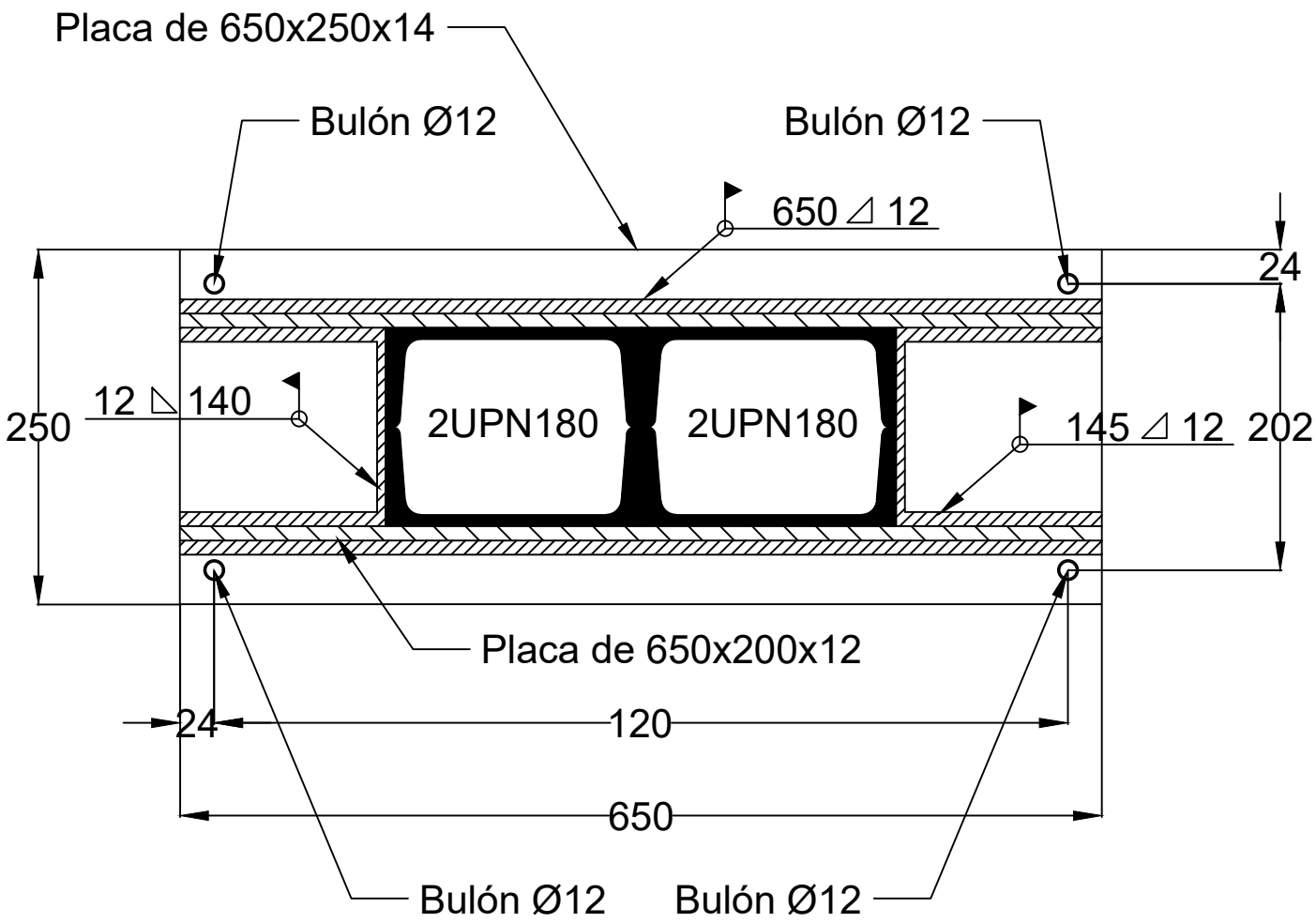




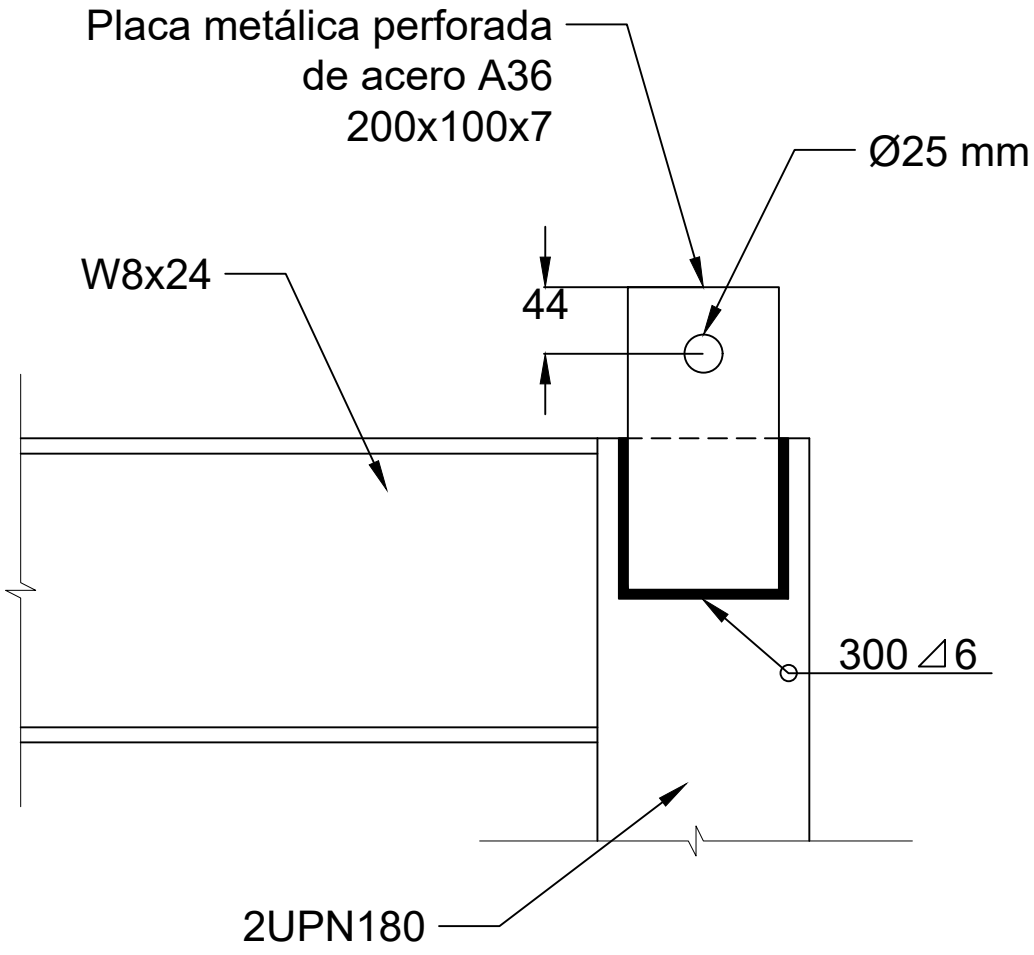
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 15/18
CONTENIDO DEL PLANO: DETALLE DE LA UNIÓN VIGA - COLUMNA	



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 16/18
CONTENIDO DEL PLANO:	PLACA BASE PARA COLUMNAS DE ESQUINA



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA: 23/10/2026	Nº DE REVISIÓN: 0
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 17/18
CONTENIDO DEL PLANO: PLACA BASE PARA DOS COLUMNAS	



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CÓRDOBA	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ALUMNAS: AUDIZIO LUCIANA Y SCHNORR SOFÍA	TESIS DE GRADO
FECHA:	Nº DE REVISIÓN:
ESCALA: 1:5	Nº DE PLANO: 18/18
CONTENIDO DEL PLANO: PLACA DE IZAJE	

RAM Elements

Fecha Actual: 22/09/2026 23:59
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\EDIFICIO\Torre 1\EDIFICIO - Torre 1.retx

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

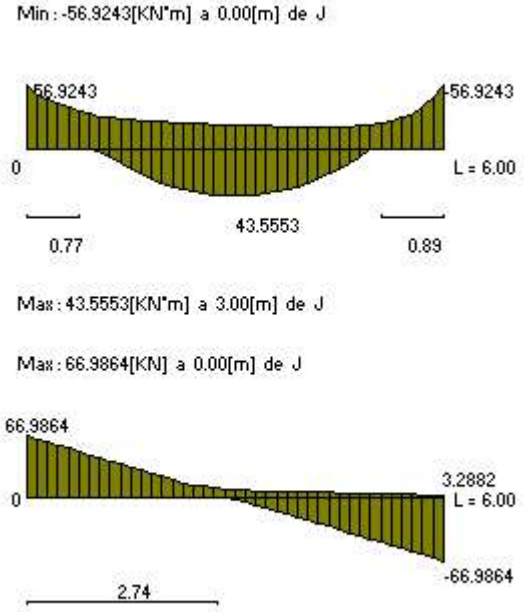
Estados de carga:

ELU1=1.4CM
ELU2=1.2CM+1.6LL
ELU3=1.2CM+0.5LL
ELU4=1.2CM+0.8Wxpp
ELU5=1.2CM+0.8Wxpn
ELU6=1.2CM+0.8Wxnp
ELU7=1.2CM+0.8Wxnn
ELU8=1.2CM+0.8Wzpp
ELU9=1.2CM+0.8Wzpn
ELU10=1.2CM+0.8Wznn
ELU11=1.2CM+0.8Wznp
ELU12=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpp
ELU13=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpn
ELU14=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnp
ELU15=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnn
ELU16=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpp
ELU17=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpn
ELU18=1.2CM+0.5LL+1.5Wznn
ELU19=1.2CM+0.5LL+1.5Wznp
ELU20=1.2CM+0.5LL+Exp
ELU21=1.2CM+0.5LL+Exn
ELU22=1.2CM+0.5LL+Ezp
ELU23=1.2CM+0.5LL+Ezn
ELU24=0.9CM+Exp
ELU25=0.9CM+Exn
ELU26=0.9CM+Ezp
ELU27=0.9CM+Ezn
ELU28=0.9CM+0.5Wxpp
ELU29=0.9CM+0.5Wxpn
ELU30=0.9CM+0.5Wxnp
ELU31=0.9CM+0.5Wxnn
ELU32=0.9CM+0.5Wzpp
ELU33=0.9CM+0.5Wzpn
ELU34=0.9CM+0.5Wznn
ELU35=0.9CM+0.5Wznp

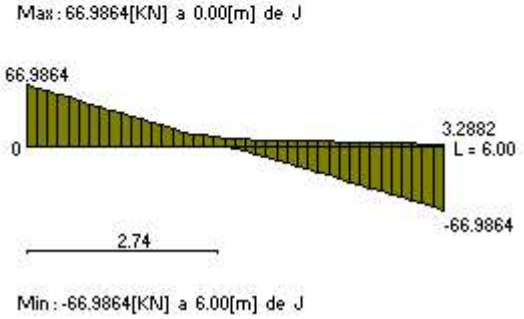
MIEMBRO	:	**91**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 86
Material	:	A36	Sección	:	2 W8x24	Nudo K	: 82

Envolventes :

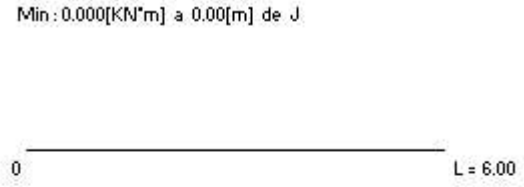
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



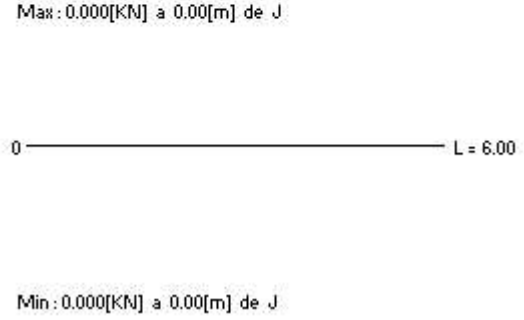
Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]



Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

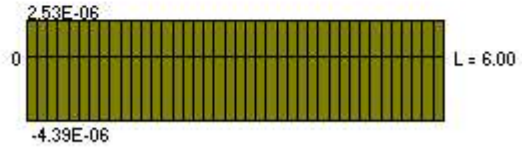
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 2.53E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

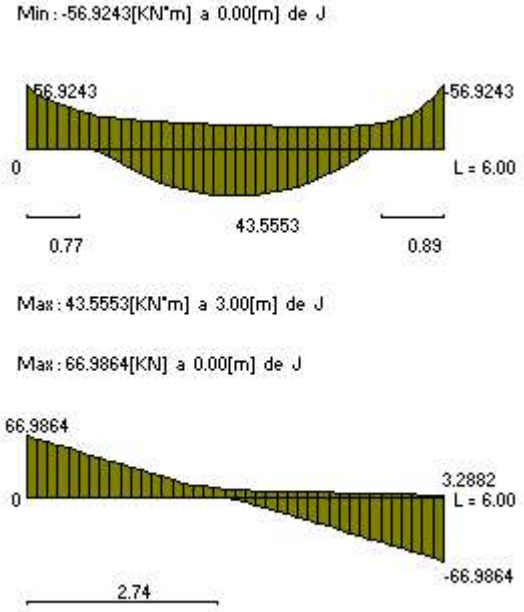


Min : -4.39E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

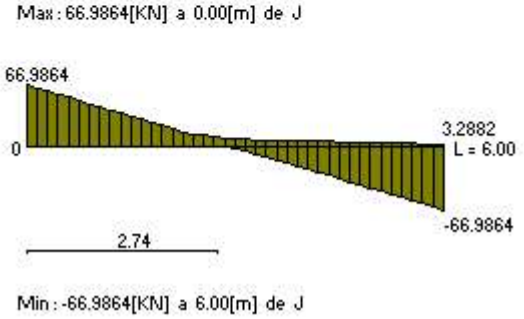
MIEMBRO	:	**87**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 54
Material	:	A36	Sección	:	2 W8x24	Nudo K	: 50

Envolventes :

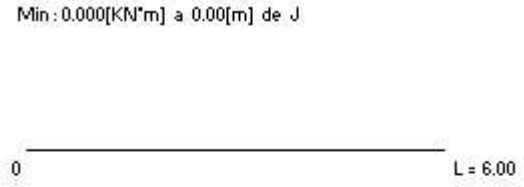
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



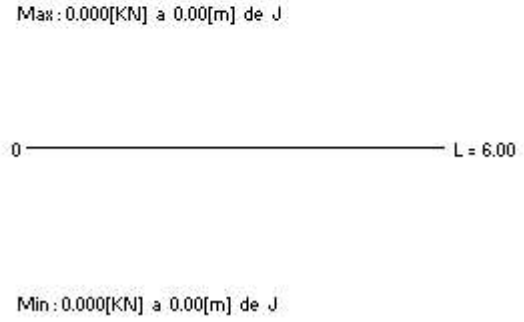
Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]



Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

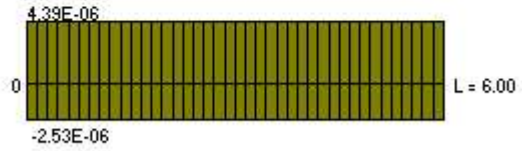
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.39E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

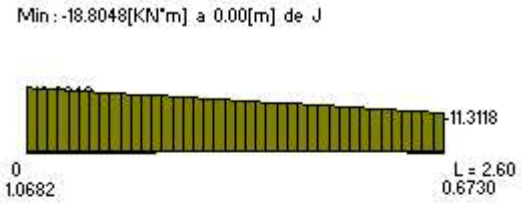


Min : -2.53E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**55**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 5
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 32

Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 1.0682[KN*m] a 0.00[m] de J

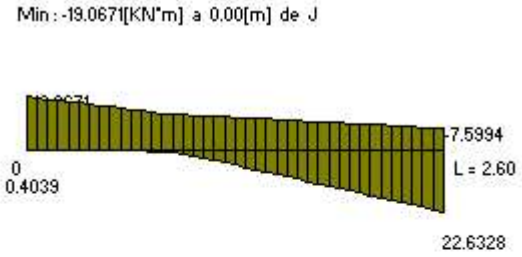
Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 11.5822[KN] a 0.00[m] de J



Min : -0.6631[KN] a 0.00[m] de J

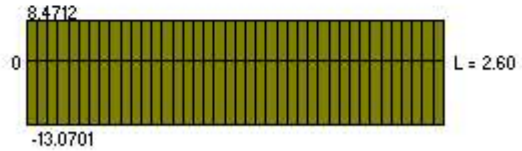
Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 22.6328[KN*m] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 8.4712[KN] a 0.00[m] de J

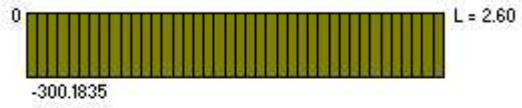


Min : -13.0701[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

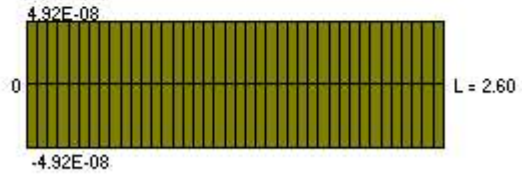
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -300.1835[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.92E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

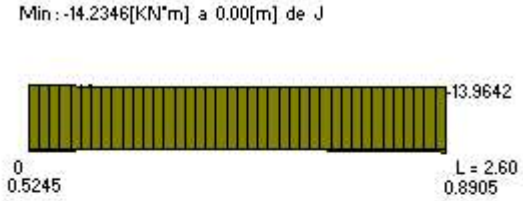


Min : -4.92E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**67**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 40
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 82

Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 0.8905[KN*m] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

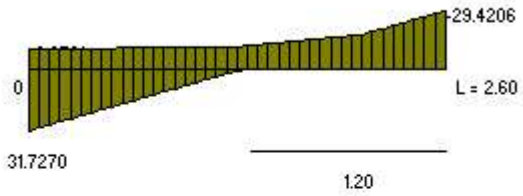
Max : 10.9250[KN] a 0.00[m] de J



Min : -0.4028[KN] a 0.00[m] de J

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

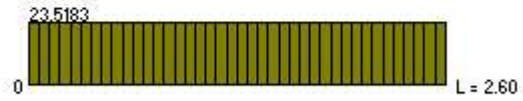
Min : -29.4206[KN*m] a 2.60[m] de J



Max : 31.7270[KN*m] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 23.5183[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

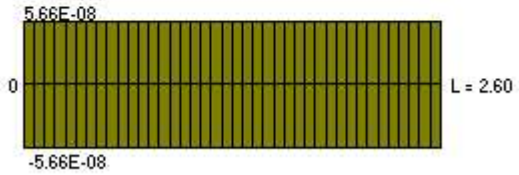
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -228.6744[KN] a 0.00[m] de J

Max : 5.66E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

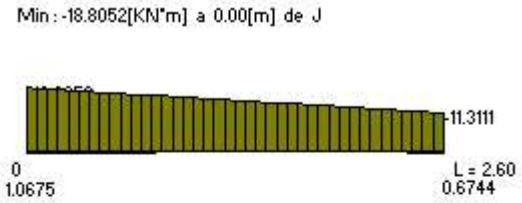


Min : -5.66E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**51**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 3
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 30

Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 1.0675[KN*m] a 0.00[m] de J

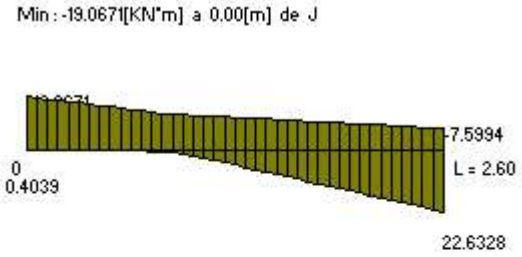
Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 11.5826[KN] a 0.00[m] de J



Min : -0.6624[KN] a 0.00[m] de J

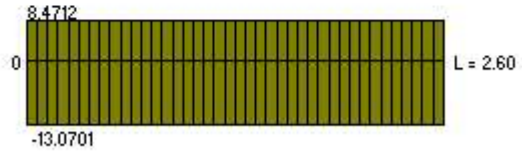
Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 22.6328[KN*m] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 8.4712[KN] a 0.00[m] de J

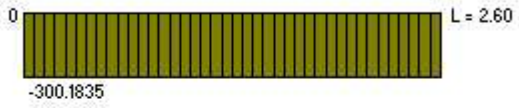


Min : -13.0701[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

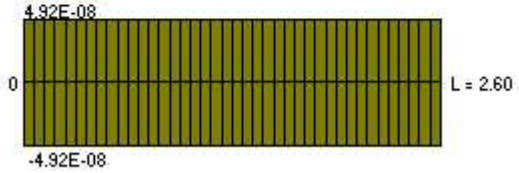
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -300.1835[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.92E-08[KN*m] a 0.00[m] de J



Min : -4.92E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 13:49
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\EDIFICIO\Torre 1\EDIFICIO - Torre 1.retx

Diseño de Acero
Reporte Extensivo

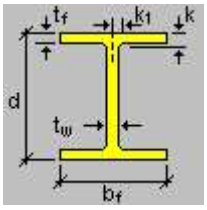
AISC 360-2016 LRFD (Laminados en caliente)

Miembro : 87 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2 W8x24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	215.000	[mm]	Profundidad
k	=	20.170	[mm]	Distancia k
k1	=	14.290	[mm]	Distancia k1
tf	=	20.300	[mm]	Espesor de ala
tw	=	12.400	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	9117.340	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	88.483	40.907
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	88.483	40.907
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.04E+06	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	1.44E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	97.482	
Área para corte (Aw)	[mm2]	6703.060	2414.280
Constante de torsión. (C)	[mm3]	51452.934	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	2036.71 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	2036.71	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	2263.01	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1598.83 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1598.83	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	67.81	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.43	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1776.48	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	660.12 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	660.12	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.67	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	733.46	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1844.47	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	1.05	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	2049.41	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.33			
Capacidad	:	172.02 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-56.92 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	47.27	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	13.61	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.67	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	61.80 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	61.80	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	68.67	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	898.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	898.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	998.26	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	359.55 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	66.99 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	359.55	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	359.55	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.33			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

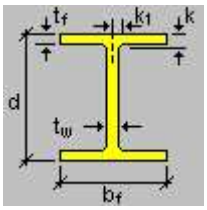
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.33	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	172.02	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	61.80	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	2036.71	Cl.H1.1

Miembro : 91 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2 W8x24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	215.000	[mm]	Profundidad
k	=	20.170	[mm]	Distancia k
k1	=	14.290	[mm]	Distancia k1
tf	=	20.300	[mm]	Espesor de ala
tw	=	12.400	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	9117.340	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	88.483	40.907
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	88.483	40.907
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.04E+06	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	1.44E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	97.482	
Área para corte (Aw)	[mm2]	6703.060	2414.280
Constante de torsión. (C)	[mm3]	51452.934	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	2036.71 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	2036.71	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	2263.01	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1598.83 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1598.83	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	67.81	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.43	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1776.48	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	660.12 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	660.12	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.67	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	733.46	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1844.47	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	1.05	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	2049.41	Eq.E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.33			
Capacidad	:	172.02 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-56.92 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	47.27	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	13.61	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.67	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	61.80 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	61.80	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	68.67	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	898.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	898.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	998.26	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	359.55 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	66.99 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	359.55	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	359.55	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.33			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

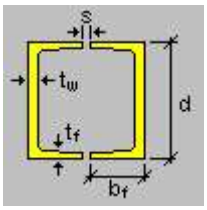
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.33	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	172.02	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	61.80	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	2036.71	Cl.H1.1

Miembro : 55 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1677.65 [KN]	Referencia	: Cl.D2	
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%	

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.19			
Capacidad	: 1596.76 [KN]	Referencia	: Cl.E3	
Demanda	: 300.18 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%	

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.20		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 300.18 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.17		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -18.80 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU24 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	

Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.28			
Capacidad	:	79.55 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-22.63 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	13.07 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	11.58 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU24 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación : 0.45
Ec. ctrl : ELU2 en 100.00% Referencia : Eq.H1-1a

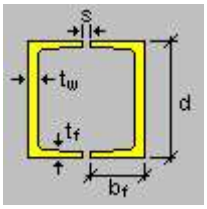
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.45	Eq.H1-1a
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-2244.78	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

Miembro : 51 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	300.18 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3

Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.20		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 300.18 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.17		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -18.81 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.28			
Capacidad	:	79.55 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-22.63 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	13.07 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	11.58 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.45			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%	Referencia	:	Eq.H1-1a

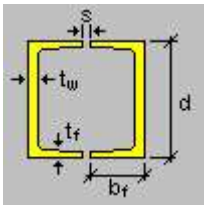
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.45	Eq.H1-1a
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-3193.57	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

Miembro : 67 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	228.67 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (Fe_{33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	

Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.15		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 228.67 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.13		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -14.23 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	: 0.40		
Capacidad	: 79.55 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -31.73 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.05			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	23.52 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	10.93 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.48			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.48	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-2313.06	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 0:01
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\EDIFICIO\Torre 2\EDIFICIO - Torres 2 y 3.retx

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

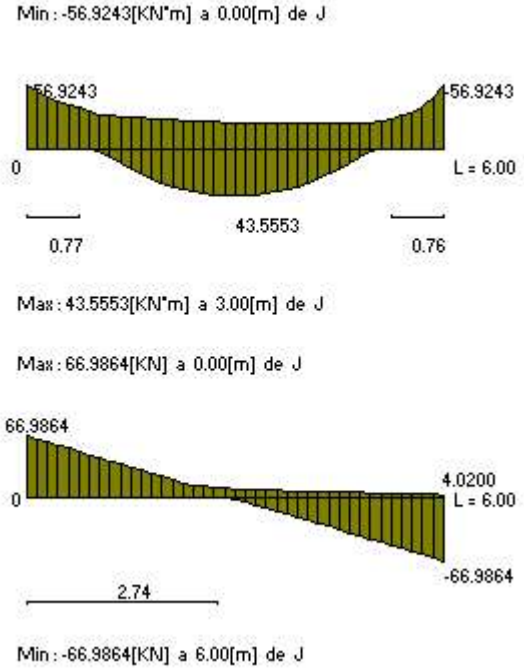
Estados de carga:

ELU1=1.4CM
ELU2=1.2CM+1.6LL
ELU3=1.2CM+0.5LL
ELU4=1.2CM+0.8Wxpp
ELU5=1.2CM+0.8Wxpn
ELU6=1.2CM+0.8Wxnp
ELU7=1.2CM+0.8Wxnn
ELU8=1.2CM+0.8Wzpp
ELU9=1.2CM+0.8Wzpn
ELU10=1.2CM+0.8Wznn
ELU11=1.2CM+0.8Wznp
ELU12=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpp
ELU13=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpn
ELU14=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnp
ELU15=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnn
ELU16=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpp
ELU17=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpn
ELU18=1.2CM+0.5LL+1.5Wznn
ELU19=1.2CM+0.5LL+1.5Wznp
ELU20=1.2CM+0.5LL+Exp
ELU21=1.2CM+0.5LL+Exn
ELU22=1.2CM+0.5LL+Ezp
ELU23=1.2CM+0.5LL+Ezn
ELU24=0.9CM+Exp
ELU25=0.9CM+Exn
ELU26=0.9CM+Ezp
ELU27=0.9CM+Ezn
ELU28=0.9CM+0.5Wxpp
ELU29=0.9CM+0.5Wxpn
ELU30=0.9CM+0.5Wxnp
ELU31=0.9CM+0.5Wxnn
ELU32=0.9CM+0.5Wzpp
ELU33=0.9CM+0.5Wzpn
ELU34=0.9CM+0.5Wznn
ELU35=0.9CM+0.5Wznp

MIEMBRO	:	**87**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 54
Material	:	A36	Sección	:	2 W8x24	Nudo K	: 50

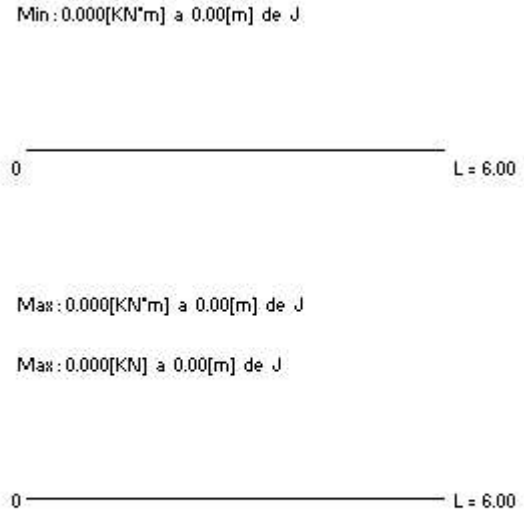
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

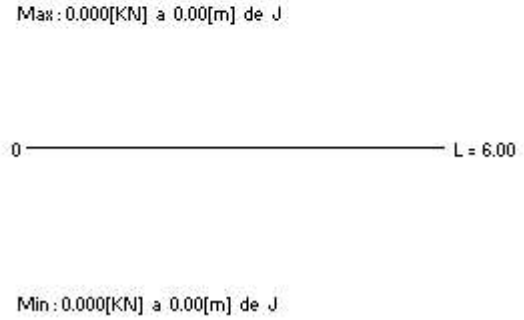


Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

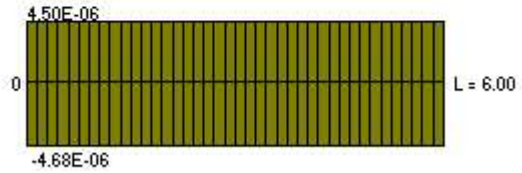
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.50E-06[KN*m] a 0.00[m] de J



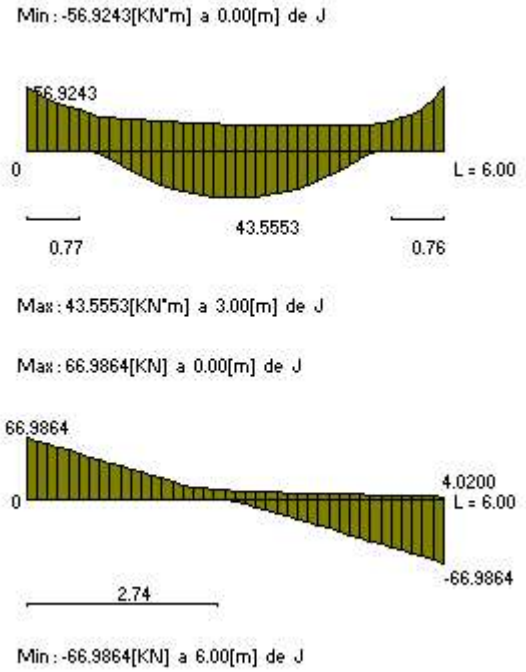
Min : -4.68E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**88**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 62
Material	:	A36	Sección	:	2 W8x24	Nudo K	: 58

Envolventes :

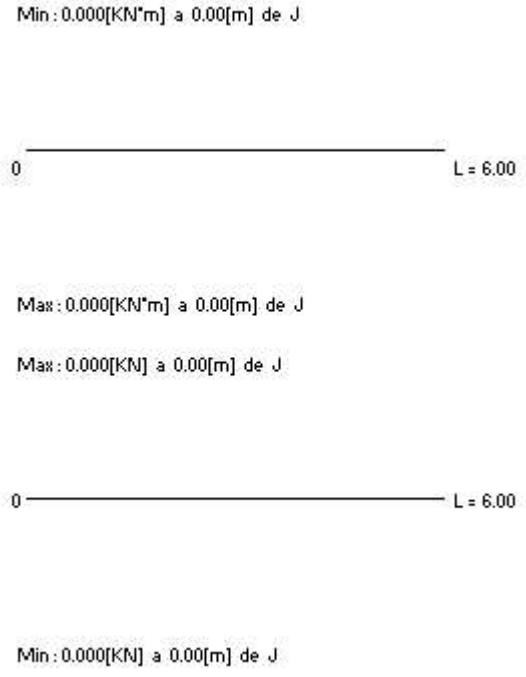
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]



Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

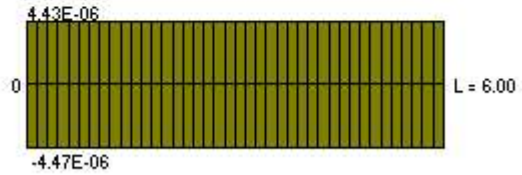
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.43E-06[KN*m] a 0.00[m] de J



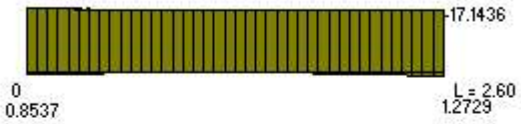
Min : -4.47E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**63**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 37
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 58

Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -17.4958[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 1.2729[KN*m] a 2.60[m] de J

Max : 13.4015[KN] a 0.00[m] de J

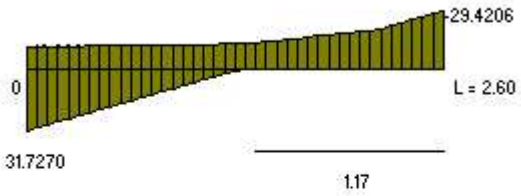


Min : -0.6649[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

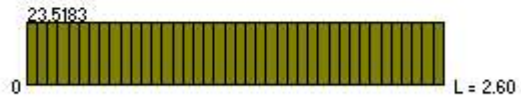
Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -29.4206[KN*m] a 2.60[m] de J



Max : 31.7270[KN*m] a 0.00[m] de J

Max : 23.5183[KN] a 0.00[m] de J



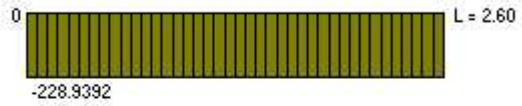
Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

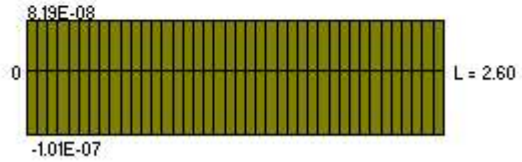
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -228.9392[KN] a 0.00[m] de J

Max : 8.19E-08[KN*m] a 0.00[m] de J



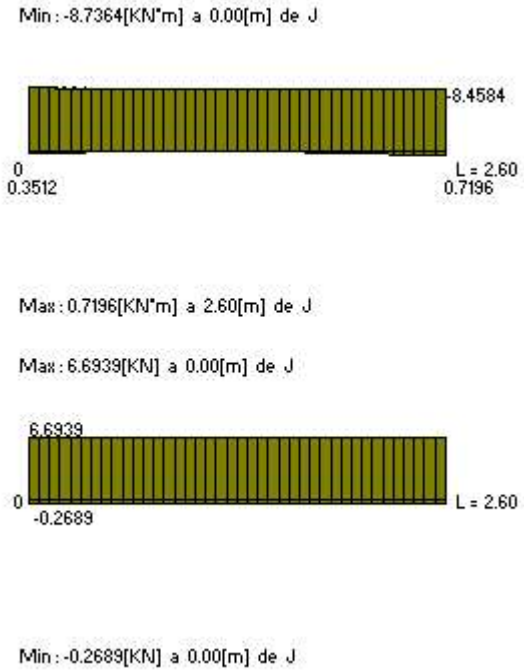
Min : -1.01E-07[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**64**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 38
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 66

Envolventes :

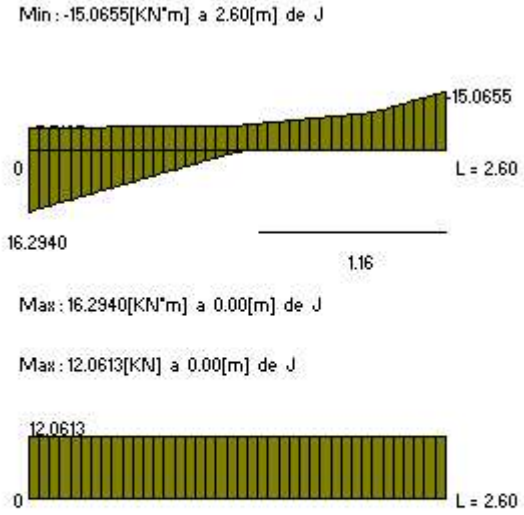
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]



Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

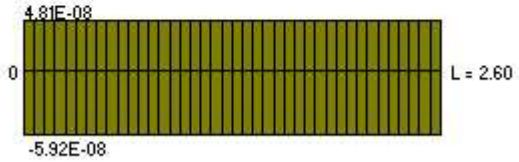
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -120.4228[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.81E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

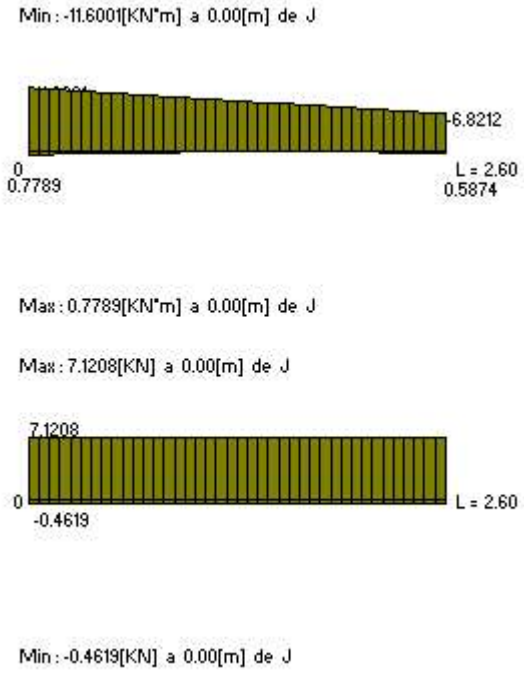


Min : -5.92E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**52**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 24
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 38

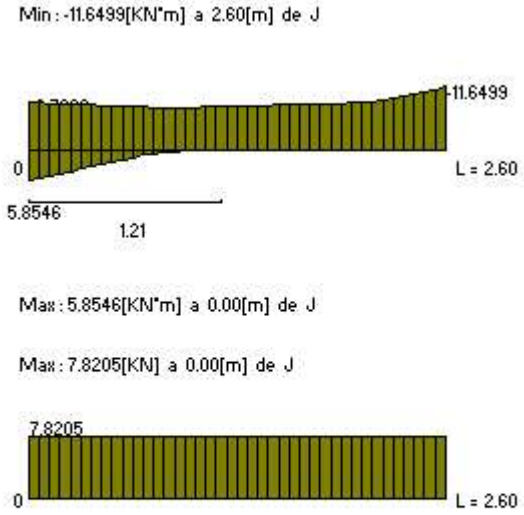
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

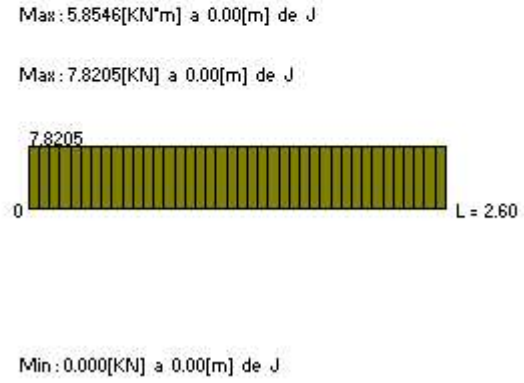


Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



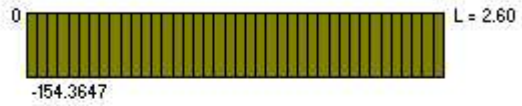
Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

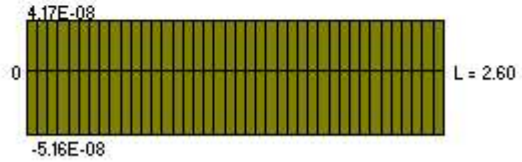
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -154.3647[KN] a 0.00[m] de J

Max : 4.17E-08[KN*m] a 0.00[m] de J



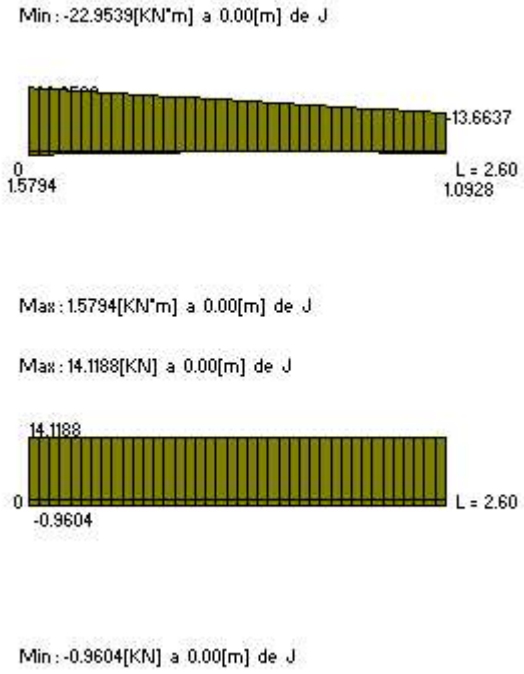
Min : -5.16E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**51**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 3
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 30

Envolventes :

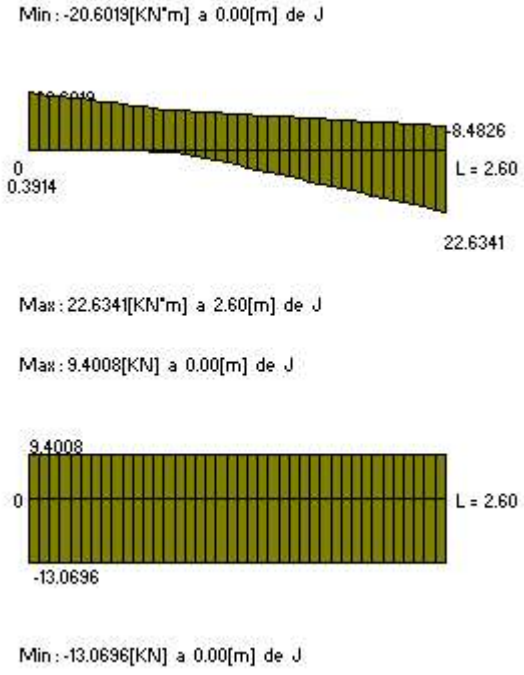
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]



Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

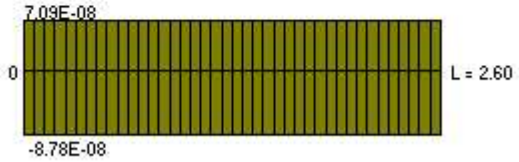
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -295.4769[KN] a 0.00[m] de J

Max : 7.09E-08[KN*m] a 0.00[m] de J



Min : -8.78E-08[KN*m] a 0.00[m] de J

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 13:54
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\EDIFICIO\Torre 2\EDIFICIO - Torres 2 y 3.retx

Diseño de Acero
Reporte Extensivo

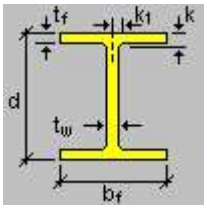
AISC 360-2016 LRFD (Laminados en caliente)

Miembro : 88 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2 W8x24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	215.000	[mm]	Profundidad
k	=	20.170	[mm]	Distancia k
k1	=	14.290	[mm]	Distancia k1
tf	=	20.300	[mm]	Espesor de ala
tw	=	12.400	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	9117.340	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	88.483	40.907
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	88.483	40.907
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.04E+06	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	1.44E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	97.482	
Área para corte (Aw)	[mm2]	6703.060	2414.280
Constante de torsión. (C)	[mm3]	51452.934	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	2036.71 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	2036.71	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	2263.01	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1598.83 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1598.83	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	67.81	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.43	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1776.48	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	660.12 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	660.12	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.67	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	733.46	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1844.47	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	1.05	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	2049.41	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.33			
Capacidad	:	172.02 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-56.92 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	47.27	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	13.61	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.67	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	61.80 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	61.80	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	68.67	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	898.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	898.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	998.26	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	359.55 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	66.99 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	359.55	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	359.55	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.33			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

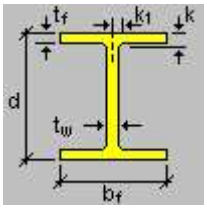
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.33	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	172.02	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	61.80	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	2036.71	Cl.H1.1

Miembro : 87 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2 W8x24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	215.000	[mm]	Profundidad
k	=	20.170	[mm]	Distancia k
k1	=	14.290	[mm]	Distancia k1
tf	=	20.300	[mm]	Espesor de ala
tw	=	12.400	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	9117.340	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	7.14E+07	1.53E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	88.483	40.907
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	88.483	40.907
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.04E+06	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	1.44E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	6.64E+05	1.85E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	7.70E+05	2.77E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	97.482	
Área para corte (Aw)	[mm2]	6703.060	2414.280
Constante de torsión. (C)	[mm3]	51452.934	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	2036.71 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	2036.71	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	2263.01	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1598.83 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1598.83	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	67.81	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.43	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1776.48	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	660.12 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	660.12	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.67	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	733.46	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1844.47	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	1.05	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	9117.34	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	2049.41	Eq.E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.33			
Capacidad	:	172.02 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-56.92 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	172.02	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	47.27	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	13.61	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.67	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	191.14	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	61.80 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	4.07	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	14.09	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	61.80	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	68.67	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	898.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	898.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	998.26	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	359.55 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	66.99 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	359.55	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	359.55	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación : 0.33
Ec. ctrl : ELU2 en 0.00% Referencia : Eq.H1-1b

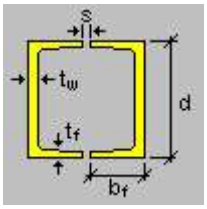
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.33	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	172.02	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	61.80	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	2036.71	Cl.H1.1

Miembro : 51 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.19			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	295.48 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3

Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.20		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 295.48 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.21		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -22.95 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.28			
Capacidad	:	79.55 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-22.63 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	13.07 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	14.12 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.38			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

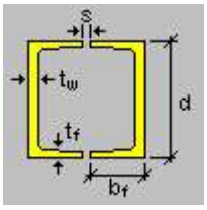
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.38	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-3193.55	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

Miembro : 52 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.13			
Capacidad	:	1164.14 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	154.36 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (Fe_{33})	[KN/mm2]	1.42	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	

Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.14		
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 154.36 [KN]	Ec. ctrl	: ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.17		
Capacidad	: 67.51 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -11.60 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	: 0.23		
Capacidad	: 51.09 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: 11.65 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU2 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	7.82 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU22 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	7.12 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.30			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 100.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

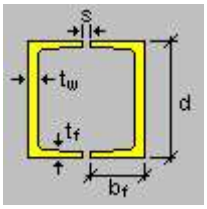
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.30	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-1519.40	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Cl.H1.1

Miembro : 64 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1252.77 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.10			
Capacidad	: 1164.14 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	: 120.42 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.11			
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	:	Cl.E4
Demanda	: 120.42 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.13			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-8.74 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.32			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-16.29 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	

Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq.F12-1

Diseño a Corte ✔

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	12.06 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	6.69 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas ✔

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.37			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

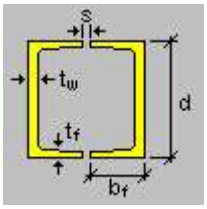
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.37	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-1115.62	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Cl.H1.1

Miembro : 63 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	228.94 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.15			
Capacidad	:	1500.38 [KN]	Referencia	:	Cl.E4
Demanda	:	228.94 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	

Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.16			
Capacidad	:	109.84 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-17.50 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.40			
Capacidad	:	79.55 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-31.73 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.05			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	23.52 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.03			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	13.40 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.48			
Ec. ctrl	:	ELU2 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.48	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-2313.49	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

RAM Elements

Fecha Actual: 22/09/2026 23:58
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\VIVIENDA\Vivienda_31-08_12.38.retx

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

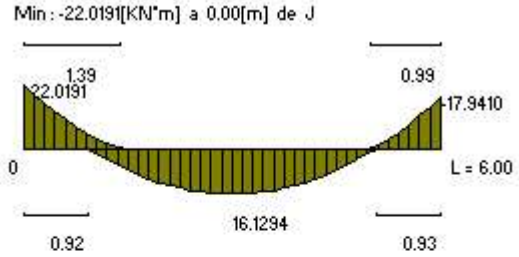
Estados de carga:

ELU1=1.4CM
ELU2=1.2CM+1.6LL
ELU3=1.2CM+0.5LL
ELU4=1.2CM+0.8Wxpp
ELU5=1.2CM+0.8Wxpn
ELU6=1.2CM+0.8Wxnp
ELU7=1.2CM+0.8Wxnn
ELU8=1.2CM+0.8Wzpp
ELU9=1.2CM+0.8Wzpn
ELU10=1.2CM+0.8Wznn
ELU11=1.2CM+0.8Wznp
ELU12=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpp
ELU13=1.2CM+0.5LL+1.5Wxpn
ELU14=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnp
ELU15=1.2CM+0.5LL+1.5Wxnn
ELU16=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpp
ELU17=1.2CM+0.5LL+1.5Wzpn
ELU18=1.2CM+0.5LL+1.5Wznn
ELU19=1.2CM+0.5LL+1.5Wznp
ELU20=1.2CM+0.5LL+Exp
ELU21=1.2CM+0.5LL+Exn
ELU22=1.2CM+0.5LL+Ezp
ELU23=1.2CM+0.5LL+Ezn
ELU24=0.9CM+Exp
ELU25=0.9CM+Exn
ELU26=0.9CM+Ezp
ELU27=0.9CM+Ezn
ELU28=0.9CM+0.5Wxpp
ELU29=0.9CM+0.5Wxpn
ELU30=0.9CM+0.5Wxnp
ELU31=0.9CM+0.5Wxnn
ELU32=0.9CM+0.5Wzpp
ELU33=0.9CM+0.5Wzpn
ELU34=0.9CM+0.5Wznn
ELU35=0.9CM+0.5Wznp

MIEMBRO	:	**41**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 30
Material	:	A36	Sección	:	W 8X24	Nudo K	: 37

Envolventes :

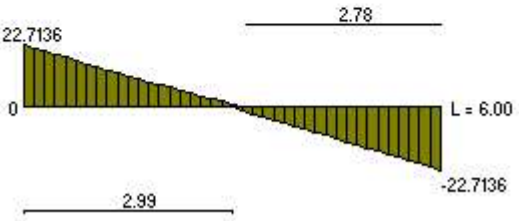
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 16.1294[KN*m] a 3.00[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 22.7136[KN] a 0.00[m] de J



Min : -22.7136[KN] a 6.00[m] de J

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

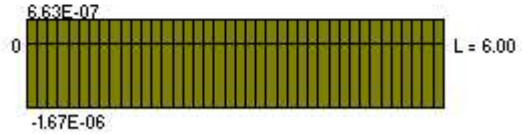
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 6.63E-07[KN*m] a 0.00[m] de J

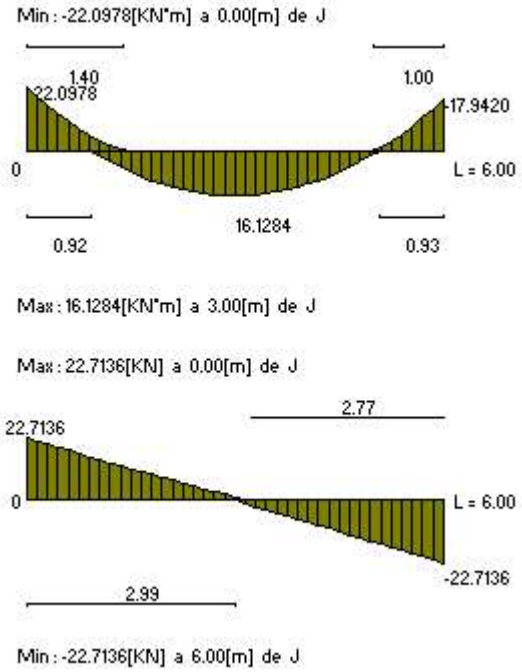


Min : -1.67E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**40**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 29
Material	:	A36	Sección	:	W 8X24	Nudo K	: 36

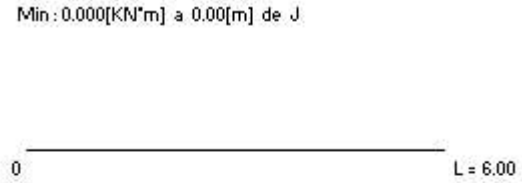
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

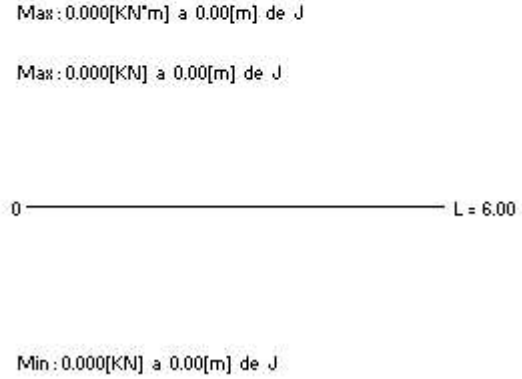


Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

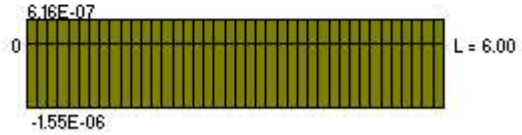
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 6.16E-07[KN*m] a 0.00[m] de J

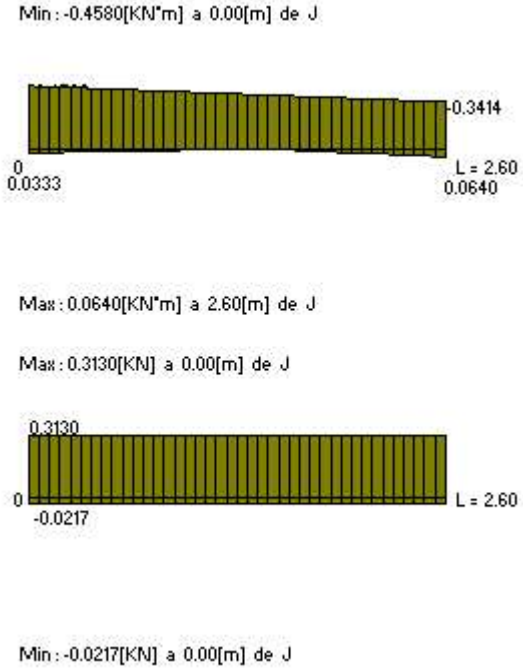


Min : -1.55E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**51**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 3
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 30

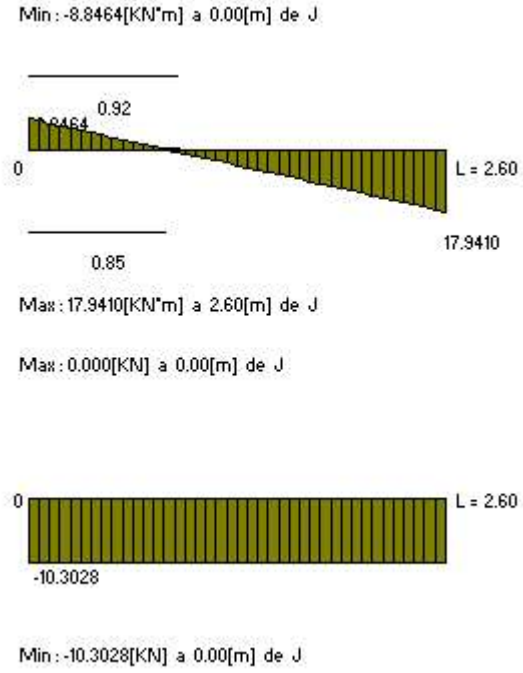
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

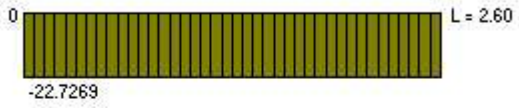


Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

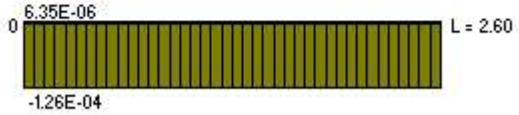
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -22.7269[KN] a 0.00[m] de J

Max : 6.35E-06[KN*m] a 0.00[m] de J

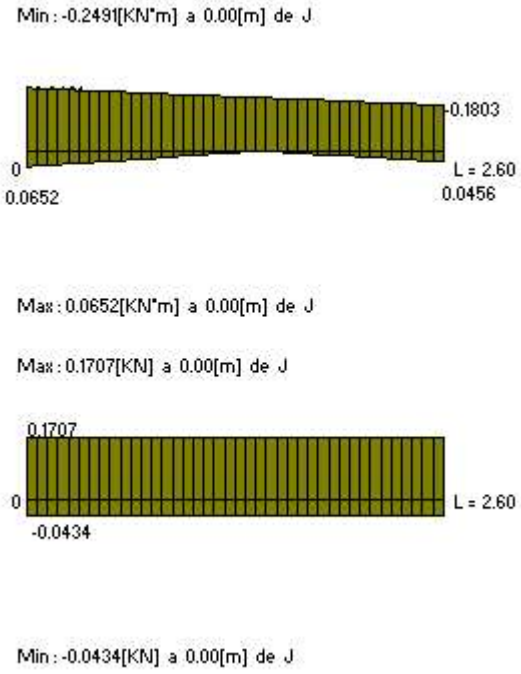


Min : -1.26E-04[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**50**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 23
Material	:	A36	Sección	:	2C 220 (2x2C180)	Nudo K	: 37

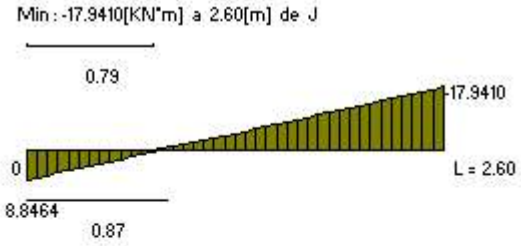
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

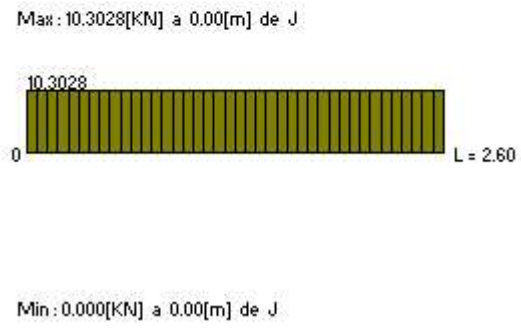


Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



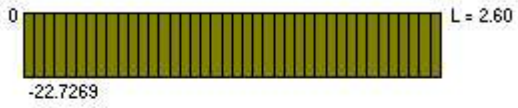
Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -22.7269[KN] a 0.00[m] de J

Max : 6.35E-06[KN*m] a 0.00[m] de J



Min : -1.26E-04[KN*m] a 0.00[m] de J

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 13:56
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\VIVIENDA\Vivienda_31-08_12.38.retx

Diseño de Acero
Reporte Extensivo

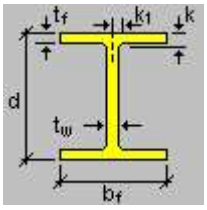
AISC 360-2016 LRFD (Laminados en caliente)

Miembro : 40 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.41	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.26			
Capacidad	:	84.56 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-22.10 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU22 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	2.16	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00		
Capacidad	:	31.37 [KN*m]	Referencia	: Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00		
Capacidad	:	449.66 [KN]	Referencia	: Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.12		
Capacidad	:	186.40 [KN]	Referencia	: Cl.G1
Demanda	:	22.71 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.26			
Ec. ctrl	:	ELU22 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

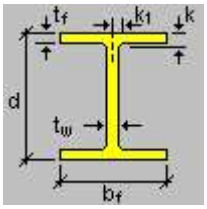
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.26	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Cl.H1.1

Miembro : 41 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.41	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	Table.B4.1a.Case1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	Table.B4.1a.Case5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq.E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	Cl.E2
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq.E4-2
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.26			
Capacidad	:	84.56 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F2.1
Demanda	:	-22.02 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU22 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	

Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Cl.F2.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq.F2-1
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Cl.F2.2
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq.F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq.F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq.F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq.F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	2.15	Eq.F1-1
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq.F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00		
Capacidad	:	31.37 [KN*m]	Referencia	: Cl.F6.1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Cl.F6.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq.F6-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00		
Capacidad	:	449.66 [KN]	Referencia	: Cl.G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Cl.G6
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq.G2-9
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq.G6-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.12		
Capacidad	:	186.40 [KN]	Referencia	: Cl.G1
Demanda	:	22.71 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.34	Eq.G2-5
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	-
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq.G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.26			
Ec. ctrl	:	ELU22 en 0.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

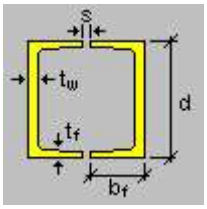
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.26	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Cl.H1.1
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Cl.H1.1

Miembro : 51 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	22.73 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3

Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.02		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 22.73 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.00		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -0.46 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU22 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.23			
Capacidad	:	79.55 [KN*m]	Referencia	:	Cl.F12.1
Demanda	:	-17.94 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte ✔

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	10.30 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.31 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU23 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas ✔

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.23			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

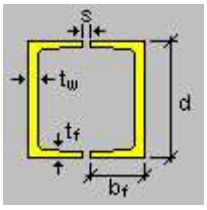
Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.23	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-3303.92	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

Miembro : 50 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 220 (2x2C180) **(US)**

Dimensiones



bf	=	80.000	[mm]	Ancho
d	=	220.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	12.500	[mm]	Espesor de ala
tw	=	9.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	7510.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	5.41E+07	2.85E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-58.360	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	84.863	61.591
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	84.863	61.591
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	2.97E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.92E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	58.360
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	4.92E+05	3.56E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	5.85E+05	4.24E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	120.004	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3775.000	3735.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	23796.767	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1677.65 [KN]	Referencia	:	Cl.D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1677.65	Cl.D2
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1864.06	Eq.D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	1596.76 [KN]	Referencia	:	Cl.E3
Demanda	:	22.73 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1596.76	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	30.64	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (Fe_{33})	[KN/mm2]	2.10	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	7510.00	

Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.24	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1774.18	Eq.E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.02		
Capacidad	: 1500.38 [KN]	Referencia	: Cl.E4
Demanda	: 22.73 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	Table.B4.1a.Case6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1527.42	Cl.E3
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	Cl.E2
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	42.21	Cl.E2
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	1.11	Eq.E3-4
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.23	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1697.13	Eq.E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1500.38	Cl.E4
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	Cl.E2
Constante por flexión (H)	--	0.76	Eq.E4-8
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.93	Eq.E4-3
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	2.09	Eq.E4-7
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	7510.00	
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.22	Eq.E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1667.09	Eq.E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	: 0.00		
Capacidad	: 109.84 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: -0.25 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU20 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia en el eje geométrico(ϕM_n):	[KN*m]	109.84	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	122.04	Eq.F12-1

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	: 0.23		
Capacidad	: 79.55 [KN*m]	Referencia	: Cl.F12.1
Demanda	: 17.94 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.04	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	161.78	
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	68.69	
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	23.06	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	42.29	
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	31.79	
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	79.55	Cl.F12.1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	88.39	Eq.F12-1

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.02			
Capacidad	:	505.98 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	10.30 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	505.98	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	562.20	Eq.G4-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	500.61 [KN]	Referencia	:	Cl.G1
Demanda	:	0.17 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU21 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	500.61	Cl.G1
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Cl.G4
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Cl.G4
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	556.24	Eq.G4-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y axial combinadas

Relación	:	0.23			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq.H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.23	Eq.H1-1b
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	-3303.92	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	79.55	Cl.H1.1
Resistencia de axial disponible (P_c)	[KN]	1500.38	Cl.H1.1

RAM Elements

Fecha Actual: 31/08/2026 13:36
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\MÓDULO EN MONTAJE\Montaje_31-08_12.15.retx

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

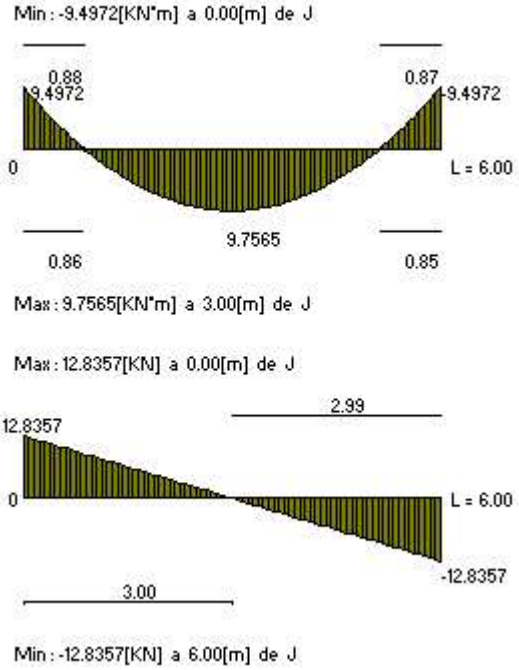
Estados de carga:

ELU1=1.4DL+Montaje
ELU2=1.2DL+Montaje
ELU3=1.2DL+0.8WXpp+Montaje
ELU4=1.2DL+0.8WXpn+Montaje
ELU5=1.2DL+0.8WZpp+Montaje
ELU6=1.2DL+0.8WZpn+Montaje
ELU7=1.2DL+0.8WZnp+Montaje
ELU8=1.2DL+0.8WZnn+Montaje
ELU9=1.2DL+1.5WXpp+Montaje
ELU10=1.2DL+1.5WXpn+Montaje
ELU11=1.2DL+1.5WZpp+Montaje
ELU12=1.2DL+1.5WZpn+Montaje
ELU13=1.2DL+1.5WZnp+Montaje
ELU14=1.2DL+1.5WZnn+Montaje
ELU24=0.9DL+0.5WXpp+Montaje
ELU25=0.9DL+0.5WXpn+Montaje
ELU26=0.9DL+0.5WZpp+Montaje
ELU27=0.9DL+0.5WZpn+Montaje
ELU28=0.9DL+0.5WZnp+Montaje
ELU29=0.9DL+0.5WZnn+Montaje
ELS1=DL+WXpp+Montaje
ELS2=DL+WXpn+Montaje
ELS3=DL+WZpp+Montaje
ELS4=DL+WZpn+Montaje
ELS5=DL+WZnp+Montaje
ELS6=DL+WZnn+Montaje

MIEMBRO	:	**28**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 6
Material	:	A36	Sección	:	W 8X24	Nudo K	: 7

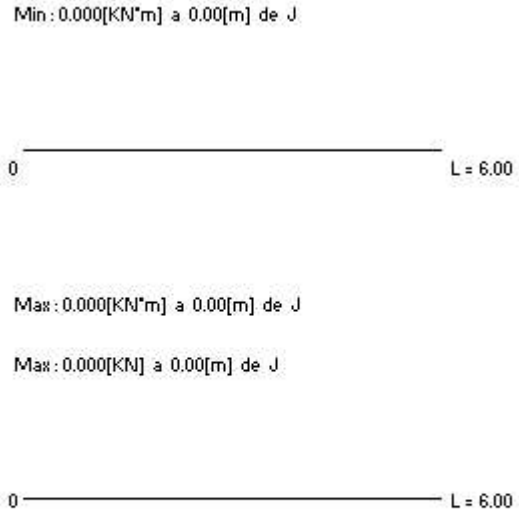
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]



Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

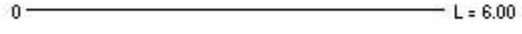
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

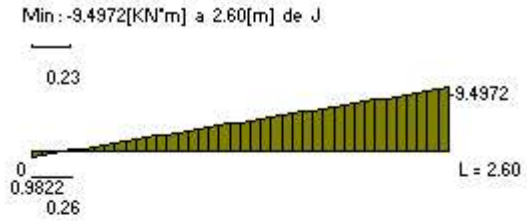


Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	: **25**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	:	2
Material	: A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	:	6

Envolventes :

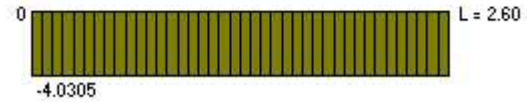
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Max : 0.9822[KN*m] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

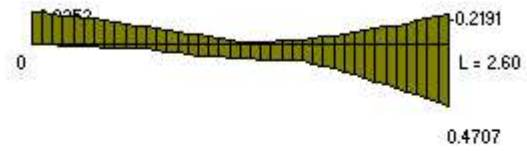
Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : -4.0305[KN] a 0.00[m] de J

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

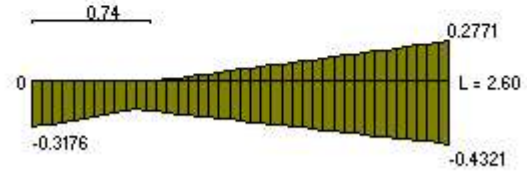
Min : -0.2353[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 0.4707[KN*m] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Max : 0.2771[KN] a 2.60[m] de J



Min : -0.4321[KN] a 2.60[m] de J

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 2.7204[KN] a 2.60[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 13:58
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\MÓDULO EN MONTAJE\Montaje_31-08_12.15.retx

Diseño de Acero
Reporte Extensivo

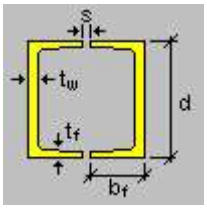
AISC 360-2010 LRFD (Laminados en caliente)

Miembro : 25 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	2.72 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	2.72	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-9.50 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-9.50	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	756.42	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.79	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	840.47	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.47 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.47	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	-0.43 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	-4.03 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas ✔

Flexión y compresión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.14	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	2.72	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

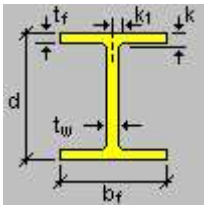
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 28 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.41	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq. E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	
Constante por flexión (H)	--	1.00	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-4
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq. E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.12			
Capacidad	:	81.69 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	9.76 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 50.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	9.76	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq. F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq. F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq. F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq. F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.31	Eq. F1-1
Esfuerzo crítico (F_{cr})	[KN/mm2]	0.30	Eq. F2-4
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	90.77	Eq. F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	31.37 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq. F6-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.00	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	449.66 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	8.13	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	3354.83	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.07			
Capacidad	:	186.40 [KN]	Referencia	:	Sec. G2.1(a)
Demanda	:	12.84 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Sec. G2.1(a)
Esbeltez del alma (λ_w)	--	25.89	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	1251.61	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Sec. G2.1(a), Eq. G2-2
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.12			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 50.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.12	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.76	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	329.56	Sec. E1

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.12
Ec. ctrl : ELU1 en 50.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.76	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

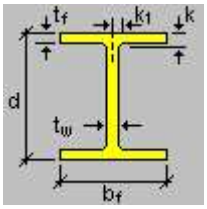
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 27 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.41	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	

Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq. E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	
Constante por flexión (H)	--	1.00	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-4
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq. E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.12			
Capacidad	:	81.69 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	9.76 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 50.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	9.76	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq. F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq. F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq. F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq. F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.31	Eq. F1-1
Esfuerzo crítico (F_{cr})	[KN/mm2]	0.30	Eq. F2-4
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	90.77	Eq. F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	31.37 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15

Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq. F6-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.00	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación : 0.00
Capacidad : 449.66 [KN] Referencia : Sec. G1
Demanda : 0.00 [KN] Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	8.13	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	3354.83	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación : 0.07
Capacidad : 186.40 [KN] Referencia : Sec. G2.1(a)
Demanda : 12.84 [KN] Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Sec. G2.1(a)
Esbeltez del alma (λ_w)	--	25.89	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	1251.61	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Sec. G2.1(a), Eq. G2-2
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación : 0.12
Ec. ctrl : ELU1 en 50.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.12	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.76	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	329.56	Sec. E1

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.12
Ec. ctrl : ELU1 en 50.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.76	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	81.69	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

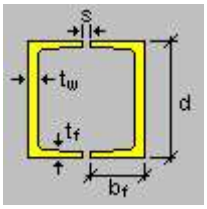
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 12 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	2.72 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	2.72	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	9.50 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	9.50	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	1475.88	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.79	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	1639.87	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-0.47 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-0.47	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	0.43 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	4.03 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas ✔

Flexión y compresión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.14	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	2.72	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

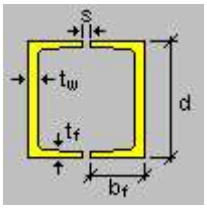
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 11 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	: 2.72 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	2.72	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva (($KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-9.50 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-9.50	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	756.42	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.79	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	840.47	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-0.47 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-0.47	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación : 0.00
Capacidad : 389.23 [KN] Referencia : Sec. G1
Demanda : 0.43 [KN] Ec. ctrl : ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación : 0.01
Capacidad : 362.43 [KN] Referencia : Sec. G1
Demanda : -4.03 [KN] Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.14	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1

Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.14
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	2.72	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

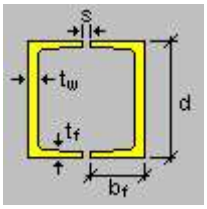
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 26 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05

Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	2.72 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	2.72	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.14			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	9.50 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	9.50	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	1475.88	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.79	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	1639.87	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.47 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.47	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	-0.43 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	4.03 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.14			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.14	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación	:	0.14			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	9.50	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	2.72	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 0:05
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\MÓDULO EN MONTAJE\Montaje_31-08_12.15.retx

Resultados del Análisis

Impresión de diagramas de esfuerzos

Estados de carga:

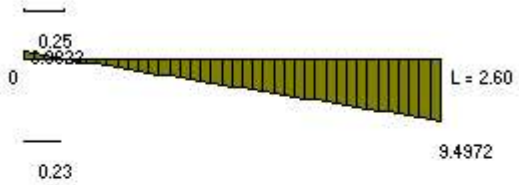
ELU1=1.4DL+Montaje
ELU2=1.2DL+Montaje
ELU3=1.2DL+0.8WXpp+Montaje
ELU4=1.2DL+0.8WXpn+Montaje
ELU5=1.2DL+0.8WZpp+Montaje
ELU6=1.2DL+0.8WZpn+Montaje
ELU7=1.2DL+0.8WZnp+Montaje
ELU8=1.2DL+0.8WZnn+Montaje
ELU9=1.2DL+1.5WXpp+Montaje
ELU10=1.2DL+1.5WXpn+Montaje
ELU11=1.2DL+1.5WZpp+Montaje
ELU12=1.2DL+1.5WZpn+Montaje
ELU13=1.2DL+1.5WZnp+Montaje
ELU14=1.2DL+1.5WZnn+Montaje
ELU24=0.9DL+0.5WXpp+Montaje
ELU25=0.9DL+0.5WXpn+Montaje
ELU26=0.9DL+0.5WZpp+Montaje
ELU27=0.9DL+0.5WZpn+Montaje
ELU28=0.9DL+0.5WZnp+Montaje
ELU29=0.9DL+0.5WZnn+Montaje

MIEMBRO	:	**12**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 4
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 8

Envolventes :

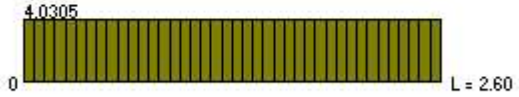
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -0.9822[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 9.4972[KN*m] a 2.60[m] de J

Max : 4.0305[KN] a 0.00[m] de J

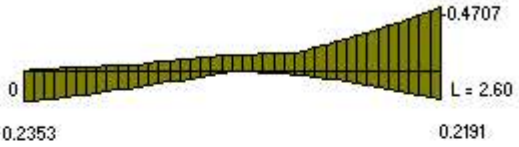


Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

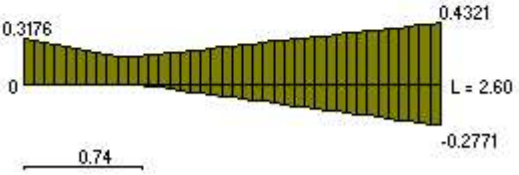
Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -0.4707[KN*m] a 2.60[m] de J



Max : 0.2353[KN*m] a 0.00[m] de J

Max : 0.4321[KN] a 2.60[m] de J



Min : -0.2771[KN] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 2.7204[KN] a 2.60[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

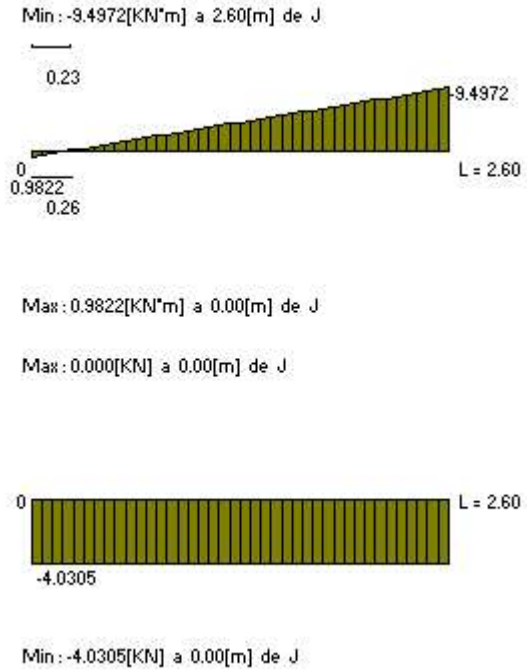


Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**11**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 1
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 5

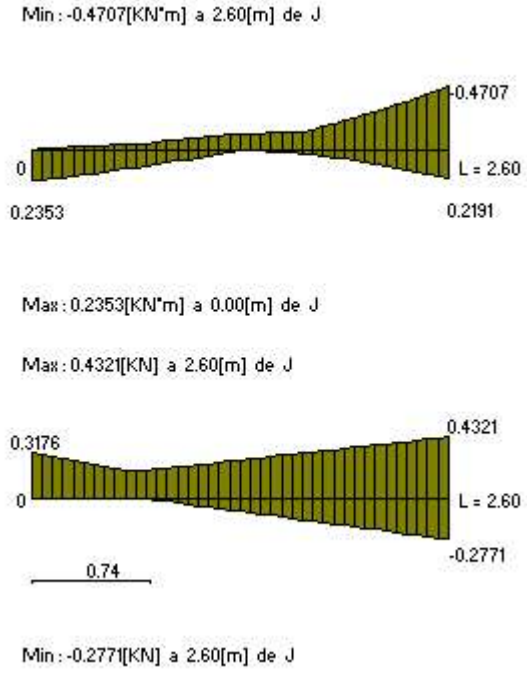
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 2.7204[KN] a 2.60[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

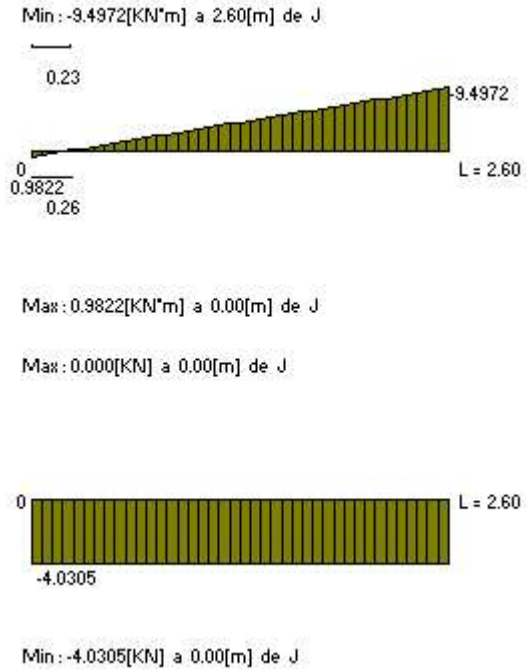


Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**25**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 2
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 6

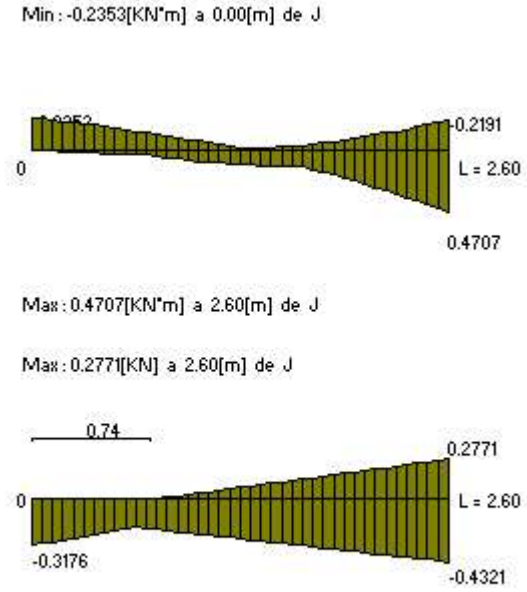
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

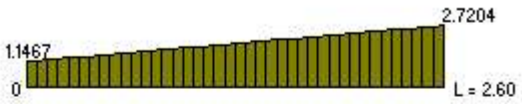


Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 2.7204[KN] a 2.60[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J



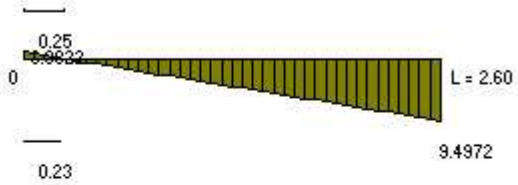
Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**26**	Longitud	:	2.600 [m]	Nudo J	: 3
Material	:	A36	Sección	:	2C 180	Nudo K	: 7

Envolventes :

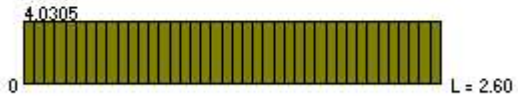
Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -0.9822[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 9.4972[KN*m] a 2.60[m] de J

Max : 4.0305[KN] a 0.00[m] de J

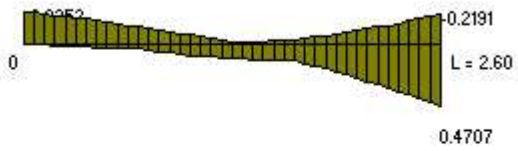


Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

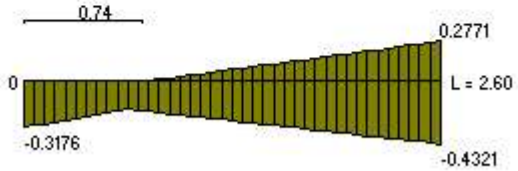
Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]

Min : -0.2353[KN*m] a 0.00[m] de J



Max : 0.4707[KN*m] a 2.60[m] de J

Max : 0.2771[KN] a 2.60[m] de J



Min : -0.4321[KN] a 2.60[m] de J

Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 2.7204[KN] a 2.60[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

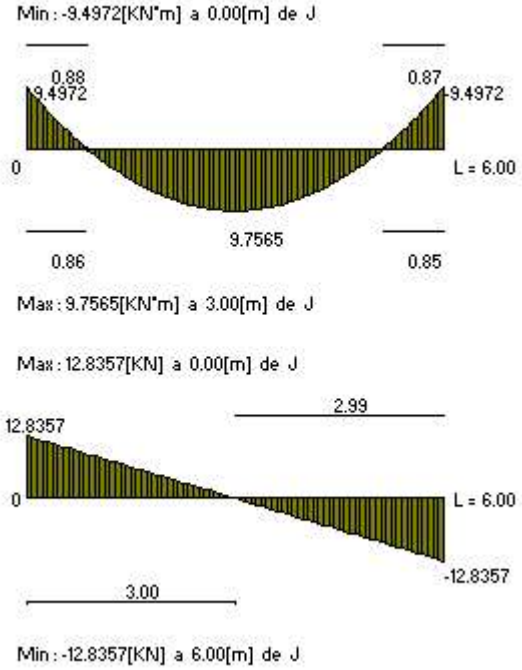


Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**27**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 5
Material	:	A36	Sección	:	W 8X24	Nudo K	: 8

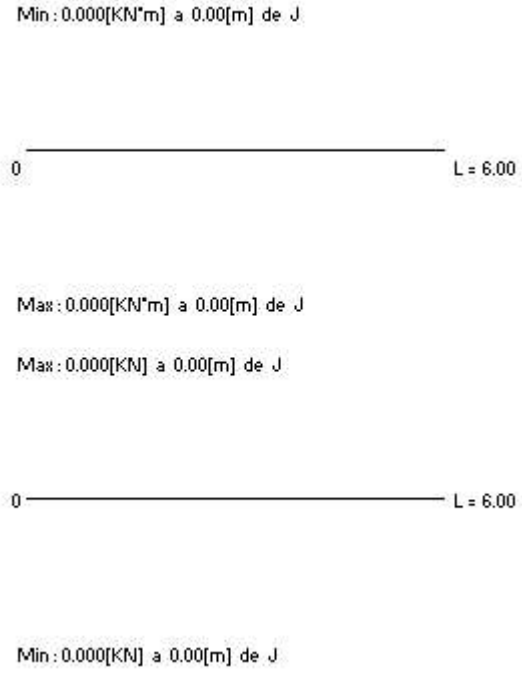
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

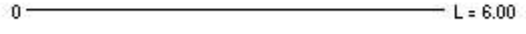
Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

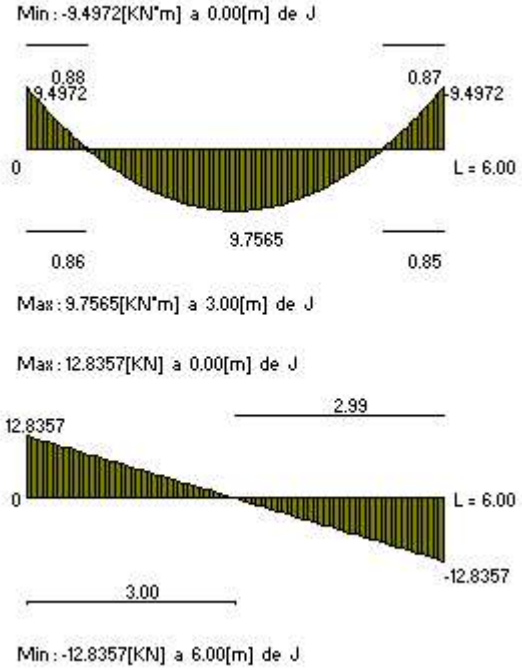


Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

MIEMBRO	:	**28**	Longitud	:	6.000 [m]	Nudo J	: 6
Material	:	A36	Sección	:	W 8X24	Nudo K	: 7

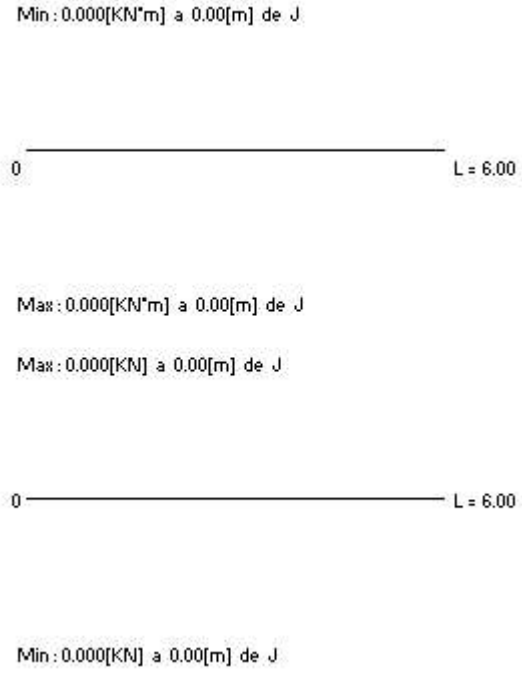
Envolventes :

Momentos flectores M33:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V2:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos flectores M22:
Momentos [KN*m], Long [m]



Fuerzas cortantes V3:
Fuerzas [KN], Long [m]

Fuerzas axiales:
Fuerzas [KN], Long [m]

Momentos torsores:
Momentos [KN*m], Long [m]

Max : 0.000[KN] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN] a 0.00[m] de J

Max : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J



Min : 0.000[KN*m] a 0.00[m] de J

RAM Elements

Fecha Actual: 23/09/2026 13:57
Sistema de unidades: SI
Nombre del archivo: C:\Users\Usuario\OneDrive\Escritorio\TRABAJO FINAL - AUDIZIO Y SCHNORR\MODELOS DE RAM\MÓDULO EN TRANSPORTE\Transporte_31-08_12.16.retx

Diseño de Acero
Reporte Extensivo

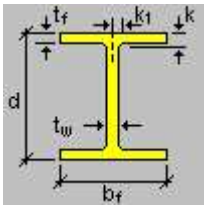
AISC 360-2010 LRFD (Laminados en caliente)

Miembro : 27 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	0.41	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq. E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	
Constante por flexión (H)	--	1.00	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-4
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq. E4-1

Diseño a Flexión ✔

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.13			
Capacidad	:	84.56 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-10.98 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-10.98	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq. F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq. F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq. F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq. F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.43	Eq. F1-1
Esfuerzo crítico (F_{cr})	[KN/mm2]	0.33	Eq. F2-4
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	31.37 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq. F6-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.00	

Diseño a Corte ✔

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	449.66 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	8.13	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	3354.83	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.07			
Capacidad	:	186.40 [KN]	Referencia	:	Sec. G2.1(a)
Demanda	:	13.33 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Sec. G2.1(a)
Esbeltez del alma (λ_w)	--	25.89	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	1251.61	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Sec. G2.1(a), Eq. G2-2
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.13	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	329.56	Sec. E1

Flexión y tensión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

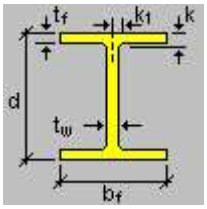
Relación	:	N/A		
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:

Miembro : 28 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: W 8X24 **(US)**

Dimensiones



bf	=	165.100	[mm]	Ancho
d	=	201.422	[mm]	Profundidad
k	=	20.168	[mm]	Distancia k
k1	=	14.287	[mm]	Distancia k1
tf	=	10.160	[mm]	Espesor de ala
tw	=	6.223	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	4567.733	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	3.44E+07	7.62E+06
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	0.000	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	86.810	40.836
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	86.810	40.836
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.44E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	6.96E+10	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	0.000
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.42E+05	92259.161
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.79E+05	1.40E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	95.936	
Área para corte (Aw)	[mm2]	3354.832	1251.610
Constante de torsión. (C)	[mm3]	12873.910	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	6.00

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m] Sup.	Inferior
6.00	6.00

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m] Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Factor de longitud efectiva Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
6.00	6.00	6.00	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1020.38 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1133.76	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	793.49 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	793.49	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	69.12	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (Fe_{33})	[KN/mm2]	0.41	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Qs_{33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5

Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	881.66	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.00		
Capacidad	:	329.56 [KN]	Referencia	: Sec. E1
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite del elemento no atiesado (λ_r)	--	15.89	T.B4.1(a)-1
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	42.29	T.B4.1(a)-5
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	329.56	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	6.00	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	146.93	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.09	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.08	Eq. E3-3
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	366.18	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	766.12	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	6.00	
Constante por flexión (H)	--	1.00	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-4
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	0.36	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	4567.73	T.B4.1(a)-1, T.B4.1(a)-5
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.19	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	851.25	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.13		
Capacidad	:	84.56 [KN*m]	Referencia	: Sec. F1
Demanda	:	-10.98 [KN*m]	Ec. ctrl	: ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1

Fluencia (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-10.98	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Longitud no arriostrada límite para fluencia (L_p)	[m]	2.04	Eq. F2-5
Radio de giro efectivo utilizado en la determinación de Lr (r_{ts})	[mm]	46.10	Eq. F2-7
Factor lateral-torsional (c)	--	1.00	Eq. F2-8a
Longitud no arriostrada límite para pandeo lateral-torsional inelástico (L_r)	[m]	7.57	Eq. F2-6
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.43	Eq. F1-1
Esfuerzo crítico (F_{cr})	[KN/mm2]	0.33	Eq. F2-4
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	93.96	Eq. F2-2

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 31.37 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	: 0.00 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	8.13	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	28.38	T.B4.1(b)-10
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	10.79	T.B4.1(b)-10
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	25.89	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-15
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	106.72	T.B4.1(b)-15
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	34.86	Eq. F6-1
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.00	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 449.66 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	449.66	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	8.13	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	3354.83	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	499.62	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	: 0.07			
Capacidad	: 186.40 [KN]	Referencia	:	Sec. G2.1(a)
Demanda	: 13.33 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	186.40	Sec. G2.1(a)
Esbeltez del alma (λ_w)	--	25.89	Sec. G2
Área de corte (A_w)	[mm2]	1251.61	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Sec. G2.1(a), Eq. G2-2
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	186.40	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.13	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	329.56	Sec. E1

Flexión y tensión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	84.56	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.00	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	31.37	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1020.38	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

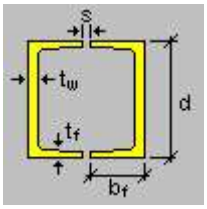
Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Miembro : 25 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	: 0.00			
Capacidad	: 1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	: 0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.01			
Capacidad	: 1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	: 15.54 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	15.54	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.01			
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	: 15.54 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	15.54	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.16			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-10.98 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-10.98	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	770.82	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.82	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	856.47	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.38 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.38	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación : 0.00
Capacidad : 389.23 [KN] Referencia : Sec. G1
Demanda : -0.47 [KN] Ec. ctrl : ELU11 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación : 0.01
Capacidad : 362.43 [KN] Referencia : Sec. G1
Demanda : -4.76 [KN] Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación : 0.17
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.17	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1

Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	13.97	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.17
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

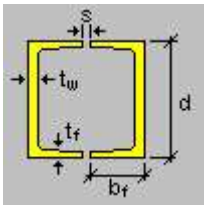
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 26 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05

Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación	: 0.01			
Capacidad	: 1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	: 14.56 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	14.56	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	: 0.01			
Capacidad	: 1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	: 14.56 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	14.56	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.12			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	8.04 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	8.04	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	1439.62	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.75	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	1599.58	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	0.38 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	0.38	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	-0.47 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU11 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	3.31 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.13	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	8.04	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	12.99	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación	:	0.12			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	8.04	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

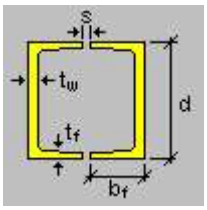
Relación	:	N/A			
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:	

Miembro : 12 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación : 0.00
Capacidad : 1252.77 [KN]
Demanda : 0.00 [KN]
Referencia : Eq. Sec. D2
Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial ✔

Compresión en el eje mayor 33

Relación : 0.01
Capacidad : 1164.14 [KN]
Demanda : 14.56 [KN]
Referencia : Sec. E1
Ec. ctrl : ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	14.56	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	:	14.56 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	14.56	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{e11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.12			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	8.04 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	8.04	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	1439.62	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.75	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	1599.58	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-0.38 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-0.38	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	0.47 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	3.31 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.13			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.13	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	8.04	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	12.99	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación : 0.12
Ec. ctrl : ELU1 en 100.00% Referencia : Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	8.04	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

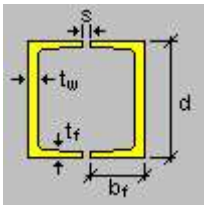
Relación : N/A
Ec. ctrl : -- Referencia :

Miembro : 11 - Bien

Información de la sección

Nombre de la sección: 2C 180 **(US)**

Dimensiones



bf	=	70.000	[mm]	Ancho
d	=	180.000	[mm]	Profundidad
s	=	0.000	[mm]	Separación
tf	=	11.000	[mm]	Espesor de ala
tw	=	8.000	[mm]	Espesor de alma

Propiedades	Unidad	Eje mayor	Eje menor
Área bruta de la sección. (Ag)	[mm2]	5608.000	
Momento de inercia (eje local) (I)	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Momento de inercia (eje principal) (I')	[mm4]	2.72E+07	1.60E+07
Constante de diseño para la flexión (eje principal) (J')	[mm]	-47.776	0.000
Radio de giro (eje local) (r)	[mm]	69.644	53.430
Radio de giro (eje principal) (r')	[mm]	69.644	53.430
Constante de torsión de Saint-Venant. (J)	[mm4]	1.75E+05	
Coeficiente de alabeo de la sección. (Cw)	[mm6]	2.68E+11	
Distancia del centro de gravedad al centro de corte (eje principal) (xo,yo)	[mm]	0.000	47.776
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje local) (Ssup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje local) (Sinf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico superior de la sección (eje principal) (S'sup)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección elástico inferior de la sección (eje principal) (S'inf)	[mm3]	3.02E+05	2.29E+05
Módulo de sección plástico (eje local) (Z)	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Módulo de sección plástico (eje principal) (Z')	[mm3]	3.60E+05	2.74E+05
Radio de giro polar. (ro)	[mm]	99.938	
Área para corte (Aw)	[mm2]	2904.000	2704.000
Constante de torsión. (C)	[mm3]	15892.121	

Material : A36

Propiedades	Unidad	Valor
Tensión de fluencia del acero (Fy):	[KN/mm2]	0.25
Tensión de rotura (Fu):	[KN/mm2]	0.40
Módulo de elasticidad (E):	[KN/mm2]	199.95
Módulo de corte del acero (G):	[KN/mm2]	79.34

Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor
Longitud para relación de esbeltez en tensión (L)	[m]	2.60

Distancia entre puntos de arriostre lateral del miembro

Longitud (Lb) [m]	
Sup.	Inferior
2.60	2.60

Longitud no arriostrada lateralmente

Longitud [m]			Factor de longitud efectiva		
Eje mayor(L33)	Eje menor(L22)	Eje torsional(Lt)	Eje mayor(K33)	Eje menor(K22)	Eje torsional(Kt)
2.60	2.60	2.60	1.0	1.0	1.0

Suposiciones adicionales

Restricción lateral a torsión	No
Acción de campo de tracción	No
Restricción flexural torsional completa	No
Tipo de valor del factor de longitud efectiva	Ninguno
Tipo de marco eje mayor	Desp. lat. permitido
Tipo de marco eje menor	Desp. lat. permitido

Verificaciones de Diseño

Diseño a Tensión Axial ✔

Tensión axial

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	1252.77 [KN]	Referencia	:	Eq. Sec. D2
Demanda	:	0.00 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a tensión(ϕP_n):	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	0.00	
Capacidad nominal a tensión (P_n)	[KN]	1391.96	Eq. D2-1

Diseño a Compresión Axial

Compresión en el eje mayor 33

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	1164.14 [KN]	Referencia	:	Sec. E1
Demanda	:	15.54 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n33}):	[KN]	1164.14	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	15.54	
Factor de longitud efectiva (K_{33})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{33})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{33}$)	--	37.33	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e33})	[KN/mm2]	1.42	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s33})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff33})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a33})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{33})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr33})	[KN/mm2]	0.23	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n33})	[KN]	1293.49	Eq. E3-1

Compresión en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	1082.23 [KN]	Referencia	:	Sec. E4
Demanda	:	15.54 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	No esbelto	
Clasificación del elemento atiesado	--	No esbelto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite del elemento atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(a)-6
Resistencia factorada a pandeo por flexión(ϕP_{n22}):	[KN]	1105.94	Sec. E1
Resistencia a tensión requerida de segundo orden (P_r)	[KN]	15.54	
Factor de longitud efectiva (K_{22})	--	1.00	
Longitud no arriostrada (L_{22})	[m]	2.60	
Esbeltez efectiva ($(KL/r)_{22}$)	--	48.66	Eq. E3-4
Esfuerzo crítico de pandeo elástico (F_{e22})	[KN/mm2]	0.83	Eq. E3-4
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s22})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff22})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a22})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{22})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico para pandeo por flexión (F_{cr22})	[KN/mm2]	0.22	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo por flexión (P_{n22})	[KN]	1228.82	Eq. E3-1
Resistencia factorada a pandeo torsional o flexo-torsional(ϕP_{n11}):	[KN]	1082.23	Sec. E4
Factor de longitud efectiva (K_{11})	--	1.00	

Longitud no arriostrada (L_{11})	[m]	2.60	
Constante por flexión (H)	--	0.77	Eq. E4-11, Eq. E4-10
Esfuerzo elástico de pandeo torsional o flexo-torsional (Fe_{11})	[KN/mm2]	0.71	Eq. E4-5
Esfuerzo elástico de pandeo torsional (F_{ez})	[KN/mm2]	1.64	Eq. E4-9
Factor de reducción para elementos esbeltos no atiesados (Q_{s11})	--	1.00	
Área efectiva de la sección basada en el ancho efectivo (A_{eff11})	[mm2]	5608.00	T.B4.1(a)-6
Factor de reducción para elementos esbeltos atiesados (Q_{a11})	--	1.00	
Factor de reducción completo para elementos esbeltos (Q_{11})	--	1.00	Sec. E7
Esfuerzo crítico de pandeo torsional o flexo-torsional (F_{cr11})	[KN/mm2]	0.21	Eq. E3-2
Resistencia nominal a pandeo torsional o flexo-torsional (P_{n11})	[KN]	1202.47	Eq. E4-1

Diseño a Flexión

Flexión alrededor del eje mayor, M33

Relación	:	0.16			
Capacidad	:	67.51 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-10.98 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	75.02	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-10.98	
Resistencia factorada a pandeo lateral-torsional(ϕM_n):	[KN*m]	770.82	Sec. F1
Factor de modificación para el pandeo lateral-torsional (C_b)	--	1.82	Eq. C-F1-3
Momento resistente nominal a pandeo lateral-torsional (M_n)	[KN*m]	856.47	Galambos(1998) Eq. 5.10

Flexión alrededor del eje menor, M22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	51.09 [KN*m]	Referencia	:	Sec. F1
Demanda	:	-0.38 [KN*m]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 100.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Clasificación de la sección			
Clasificación del elemento no atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento no atiesado (λ)	--	6.00	
Esbeltez límite para elemento no compacto no atiesado (λ_r)	--	39.74	T.B4.1(b)-17
Esbeltez límite para elemento compacto no atiesado (λ_p)	--	31.79	T.B4.1(b)-17
Clasificación del elemento atiesado	--	Compacto	
Esbeltez del elemento atiesado (λ)	--	21.12	
Esbeltez límite para elemento no compacto atiesado (λ_r)	--	161.78	T.B4.1(b)-19
Esbeltez límite para elemento compacto atiesado (λ_p)	--	68.69	T.B4.1(b)-19
Resistencia factorada a fluencia(ϕM_n):	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Fluencia (M_n)	[KN*m]	56.77	Eq. F12-2
Resistencia a flexión requerida de segundo orden (M_r)	[KN*m]	-0.38	

Diseño a Corte

Corte en el eje mayor 33

Relación	:	0.00			
Capacidad	:	389.23 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	0.47 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU13 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	389.23	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	6.00	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2904.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	1.20	Sec. G7
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	432.48	Eq. G2-1

Corte en el eje menor 22

Relación	:	0.01			
Capacidad	:	362.43 [KN]	Referencia	:	Sec. G1
Demanda	:	-4.76 [KN]	Ec. ctrl	:	ELU1 en 0.00%

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Capacidad factorada a corte(ϕV_n):	[KN]	362.43	Sec. G1
Esbeltez del alma (λ_w)	--	21.12	
Área de corte (A_w)	[mm2]	2704.00	
Coeficiente de pandeo a corte del alma (k_v)	--	5.00	Sec. G2.1(b)
Coeficiente de pandeo a corte del alma (C_v)	--	1.00	Eq. G2-3
Capacidad nominal a corte (V_n)	[KN]	402.70	Eq. G2-1

Diseño a Acciones Combinadas

Flexión y compresión axial combinadas

Relación	:	0.17			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Interacción de flexión y fuerza axial:	--	0.17	Eq. H1-1b
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de compresión axial requerida (P_r)	[KN]	13.97	
Resistencia de compresión axial disponible (P_c)	[KN]	1082.23	Sec. E4

Flexión y tensión axial combinadas

Relación	:	0.17			
Ec. ctrl	:	ELU1 en 100.00%	Referencia	:	Eq. H1-1b

Resultados Intermedios	Unidad	Valor	Referencia
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje fuerte (M_{r33})	[KN*m]	-10.98	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje fuerte (M_{c33})	[KN*m]	67.51	Sec. F1
Resistencia de flexión requerida alrededor del eje débil (M_{r22})	[KN*m]	-0.15	
Resistencia de flexión disponible alrededor del eje débil (M_{c22})	[KN*m]	51.09	Sec. F1
Resistencia de tensión axial requerida (P_r)	[KN]	0.00	
Resistencia de tensión axial disponible (P_c)	[KN]	1252.77	Eq. Sec. D2

Flexión y compresión axial combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A		
Ec. ctrl	:	--	Referencia	:

Tensión y flexión combinadas alrededor de ejes locales

Relación	:	N/A		
Ec. ctrl	:	--	Referencia	: