

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Título del trabajo

Diseño estructural sismorresistente de una torre de telecomunicaciones autosoportada triangular de 60 metros de altura para la ciudad de Guayaquil, utilizando el programa Robot Structural Profesional y su módulo de Cargas de viento.

Previo la obtención del Título de:

Magíster en Estructuras Civiles Sismorresistentes

Presentado por:

José Ricardo Reyes Serrano

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo constante y motivación a lo largo de este camino. Agradezco también a mis amigos y colegas, cuya colaboración y palabras de aliento han sido invaluable. Finalmente, expreso mi gratitud a los docentes y mentores que, con su guía, han contribuido significativamente al desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; José Ricardo Reyes Serrano doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

José Ricardo Reyes
Serrano

EVALUADORES

Nadia Quijano Arteaga

PROFESOR DE LA MATERIA

Samantha Hidalgo Astudillo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una torre de telecomunicaciones autosoportada triangular de 60 metros de altura, utilizando criterios sismorresistentes y de cargas de viento específicos para la ciudad de Guayaquil. La hipótesis plantea que la simulación mediante el módulo de túnel de viento del software Robot Structural Professional proporcionará resultados más precisos y seguros en comparación con los obtenidos aplicando la norma TIA 222G. La justificación radica en la importancia de contar con un diseño estructural óptimo para una zona con alta actividad sísmica y condiciones de viento variables, como es Guayaquil, lo cual es crucial para la seguridad y durabilidad de la estructura.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizó Robot Structural Professional para modelar la torre, considerando las cargas de viento según las normas locales y las especificaciones de la TIA 222G. Se llevaron a cabo simulaciones de cargas sísmicas y de viento, comparando los resultados obtenidos del túnel de viento del software con los cálculos normativos. También se realizó una verificación de los materiales y perfiles de acero utilizados en la estructura, conforme a las normas ASTM y AISC.

Los resultados mostraron que el túnel de viento de Robot Structural Professional proporcionó una distribución más detallada y realista de las cargas, en comparación con la metodología tradicional de la norma TIA 222G. Además, se observó una reducción en los esfuerzos en ciertos elementos de la torre al aplicar las simulaciones avanzadas.

En conclusión, el uso del módulo de túnel de viento del software mejora la precisión en el diseño estructural de la torre, lo que puede llevar a un uso más eficiente de los materiales y un diseño más seguro.

Palabras Clave: torre autosoportada, diseño sismorresistente, TIA 222G, Robot Structural Professional.

ABSTRACT

The objective of this project is to design a 60-meter-high, self-supporting triangular telecommunications tower using seismic-resistant and wind load criteria specific to the city of Guayaquil. The hypothesis suggests that the simulation using the wind tunnel module of the Robot Structural Professional software will provide more precise and safer results compared to those obtained by applying the TIA 222G standard. The justification lies in the importance of achieving an optimal structural design for an area with high seismic activity and variable wind conditions, such as Guayaquil, which is crucial for the safety and durability of the structure.

For the project development, Robot Structural Professional was used to model the tower, considering wind loads according to local standards and the specifications of TIA 222G. Seismic and wind load simulations were conducted, comparing the results obtained from the software's wind tunnel with the normative calculations. A verification of the materials and steel profiles used in the structure was also performed, in accordance with ASTM and AISC standards.

The results showed that the wind tunnel of Robot Structural Professional provided a more detailed and realistic distribution of loads compared to the traditional methodology of the TIA 222G standard. Additionally, a reduction in stresses on certain elements of the tower was observed when applying advanced simulations.

In conclusion, the use of the software's wind tunnel module improves the accuracy of the tower's structural design, which can lead to more efficient use of materials and a safer design.

Keywords: Self-supporting tower, seismic-resistant design, TIA 222G, Robot Structural Professional.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE GENERAL	7
ABREVIATURAS.....	9
SIMBOLOGÍA.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
CAPÍTULO 1.....	13
Introducción	13
1.1 Antecedentes	14
1.2 Localización.....	16
1.3 Estudios previos	17
1.4 Problemática a resolver.....	18
1.5 Justificación.....	19
1.6 Objetivos	21
1.6.1 Objetivo General.....	21
1.6.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 2.....	22
Desarrollo del proyecto.....	22
2.1 Marco conceptual	22
2.1.1 Telecomunicaciones	22
2.1.2 Red 5G	22
2.1.3 Torres de Telecomunicaciones.....	22
2.1.4 Sismicidad	23

2.1.5	Viento.....	23
2.1.6	Robot Structural Profesional Analysis.....	24
2.2	Marco metodológico	24
2.2.1	Identificación de los Códigos y Normativas Aplicables	24
2.2.2	Determinación de las Cargas de Diseño.....	25
2.2.3	Modelado y Diseño de los Elementos Estructurales	25
2.2.4	Análisis y Diseño Estructural	26
2.2.5	Validación y Ajustes.....	26
2.3	Trabajo de laboratorio o gabinete.....	26
2.3.1	Definición de Materiales.....	26
2.3.2	Definición de Secciones.....	27
2.3.3	Asignación de Cargas.....	34
2.3.4	Combinaciones de Carga.	47
CAPÍTULO 3.....		49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		49
3.1	Resultados	49
3.2	Análisis de resultados.....	49
3.2.1	Modos de Vibración	50
3.2.2	Desplazamiento	51
3.2.3	Peso de la estructura	51
3.2.4	Esfuerzo en los perfiles.....	51
CAPÍTULO 4.....		57
Conclusiones Y Recomendaciones		57
Conclusiones.....		57
Recomendaciones.....		59
BIBLIOGRAFÍA.....		60

ABREVIATURAS

TIA: Telecommunications Industry Association

AISC: American Institute of Steel Construction

NEC: Norma Ecuatoriana de la Construcción

ASCE: American Society of Civil Engineers

RRU: Remote Radio Unit

BTS: Base Transceiver Station

IoT: Internet of Things

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

SIMBOLOGÍA

K_z: Coeficiente de Presión de Velocidad

K_d: Factor de Dirección del Viento

G_h: Factor de Ráfaga

q_z: Presión de viento (N/m²).

V: Velocidad básica del viento (m/s).

W: Peso total de las cargas muertas (kN).

F: Fuerza ejercida sobre la estructura (kN).

T: Periodo fundamental de vibración de la estructura (s).

S_a: Aceleración espectral (g).

h: Altura de la estructura (m).

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

m: Masa de la estructura (kg).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Torre Auto soportada con equipos de Telecomunicaciones	13
Figura 1.2. Esquema de Ciudades Inteligentes con conectividad 5G	15
Figura 1.3.- Porcentaje de RBS Instaladas por prestador y tecnología 2022	16
Figura 1.4. Ciudad de Guayaquil, diseño de infraestructura	17
Figura 2.5. Propiedades del Material A36	27
Figura 2.6. Sección Perfil Tubular R 6.625 x 0.5	28
Figura 2.7. Sección Perfil Tubular R 6.625 x 0.43	29
Figura 2.8. Sección Perfil Tubular R 4 x 0.25	29
Figura 2.9 Sección Perfil Tubular R 3.5 x 0.125	30
Figura 2.10 Sección Perfil Tubular R 2.875 x 0.125	30
Figura 2.11 Sección Perfil Tubular R 2.5 x 0.125	31
Figura 2.12 Sección Perfil Tubular R 2.375 x 0.125	31
Figura 2.13. Asignación de Secciones en Tramo 1 y Tramo 2	32
Figura 2.14. Asignación de Secciones en Tramo 3 y Tramo 4	32
Figura 2.15. Asignación de Secciones en Tramo 5 y Tramo 6	33
Figura 2.16. Asignación de Secciones en Tramo 7 y Tramo 8	33
Figura 2.17. Asignación de Secciones en Tramo 9 y Tramo 10	34
Figura 2.18. Asignación de Carga Muerta por peso de las Antenas	35
Figura 2.19. Asignación de Carga Viva	37
Figura 2.20. Creación de Carga Modal	38
Figura 2.21. Creación de Carga Modal	39
Figura 2.22. Creación de Carga Modal	39
Figura 2.23. Asignación de Carga de Viento	47
Figura 2.24. Creación de Carga Modal	48
Figura 2.25. Modos de Vibración – Análisis Modal	50
Figura 2.26. Deformada por Carga de Viento	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Coeficientes de Factores de Exposición.....	40
Tabla 2.- Factor de probabilidad de la dirección del viento	41
Tabla 3.- Coeficientes de Factores de Exposición.....	41
Tabla 4.- Coeficientes de Factores de Exposición.....	52

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La infraestructura de telecomunicaciones desempeña un papel crucial en el desarrollo económico, social y tecnológico de las sociedades modernas. Estas estructuras facilitan la conectividad global y promueven la innovación en sectores clave como la educación, la salud y el transporte. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), más del 90 % de la población mundial tiene acceso a redes móviles, lo que subraya la importancia de contar con sistemas eficientes y robustos que soporten esta creciente demanda (UIT, 2022).



Figura 1.1 Torre Auto soportada con equipos de Telecomunicaciones

El despliegue de la tecnología 5G marca un punto de inflexión en la evolución de las telecomunicaciones. Este avance promete velocidades de transferencia de datos hasta 100 veces más rápidas que las redes 4G, permite la conectividad masiva de dispositivos del Internet de las Cosas (IoT) y reduce significativamente la latencia, habilitando aplicaciones críticas en tiempo real (ITU-R, 2017). Estas capacidades son esenciales para nuevas industrias y transforman la vida cotidiana de millones de personas.

En el ámbito de las ciudades inteligentes, la tecnología 5G permite la gestión eficiente de los recursos urbanos mediante la transmisión de datos en tiempo real. Sistemas como los semáforos inteligentes, la recolección automatizada de basura y la monitorización ambiental son posibles gracias a redes rápidas y confiables (Chourabi et al., 2012). En el sector de la salud, la telemedicina y las cirugías asistidas por robots dependen de redes con alta velocidad y baja latencia para garantizar la precisión y confiabilidad necesarias (Panesar, 2019). Asimismo, los vehículos autónomos requieren 5G para coordinarse con su entorno en tiempo real y asegurar la seguridad de los pasajeros y peatones (Pereira et al., 2021).

A pesar de los avances en tecnologías de telecomunicación, la infraestructura existente no está diseñada para soportar las demandas de la conectividad 5G. Las torres tradicionales, diseñadas para soportar las tecnologías 2G, 3G y 4G, carecen de la capacidad estructural y tecnológica para satisfacer los requerimientos actuales, que incluyen la instalación de antenas más grandes y pesadas, así como la resistencia a eventos climáticos extremos y sismos (Kumar & Singh, 2021). Además, el crecimiento exponencial en el número de dispositivos conectados subraya la necesidad de actualizar estas estructuras con diseños innovadores y optimizados (Cisco, 2020).

En este contexto, es indispensable desarrollar torres de telecomunicaciones modernas que no solo soporten los equipos necesarios para 5G, sino que también garanticen su estabilidad frente a amenazas naturales, como sismos y vientos extremos. Este diseño busca optimizar la eficiencia estructural y tecnológica, asegurando que estas torres sean un pilar esencial para la conectividad del futuro. (Chourabi H. N.-G., 2012).

1.1 Antecedentes

La tecnología 5G ha emergido como la siguiente evolución en las redes de telecomunicaciones, prometiendo transformar la forma en que nos conectamos y comunicamos. A nivel mundial, se estima que el despliegue de redes 5G permitirá velocidades de descarga hasta 100 veces más rápidas que las ofrecidas por el 4G, así como latencias significativamente reducidas, lo que es esencial para aplicaciones críticas como vehículos autónomos, telemedicina y la Internet de las

Cosas (IoT). (Digi, 2024) Sin embargo, para aprovechar plenamente estas capacidades, es imperativo contar con una infraestructura adecuada que soporte la nueva tecnología. Esto incluye la construcción de torres de telecomunicaciones más robustas y sistemas de transmisión que puedan manejar las altas demandas de conectividad y datos.



Figura 1.2. Esquema de Ciudades Inteligentes con conectividad 5G
Autor: Gurusoft

En muchos países desarrollados, las redes 5G ya están operativas en áreas urbanas, permitiendo la implementación de tecnologías avanzadas que optimizan la vida cotidiana. Por ejemplo, en ciudades como Nueva York y Tokio, se están utilizando soluciones 5G para gestionar el tráfico en tiempo real, mejorar la seguridad pública y habilitar sistemas de energía más inteligentes.

En el caso de Ecuador, el despliegue del 5G enfrenta desafíos importantes. Aunque ya se han realizado pruebas piloto y se han implementado estaciones fijas de 5G, el país sigue rezagado en comparación con otras naciones de la región (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2024). La infraestructura existente, diseñada principalmente para 3G y 4G, requiere modernización y expansión para cumplir con las demandas del 5G. El gobierno ecuatoriano, reconociendo el potencial de esta tecnología para mejorar la conectividad y fomentar el desarrollo económico, ha iniciado la licitación de espectros de frecuencia para su operación (Primicias, 2024).

Recientemente, Ecuador ha iniciado la licitación de espectros de frecuencia para la operación de 5G, lo que marca un paso importante hacia la modernización de su infraestructura de telecomunicaciones. Se prevé que, una vez implementado, el 5G beneficiará a diversos sectores, como la educación, la salud y el transporte, al proporcionar acceso a servicios más rápidos y eficientes. Sin embargo, la inversión en infraestructura y la capacitación del personal son cruciales para garantizar que el país aproveche al máximo las ventajas que ofrece esta nueva tecnología (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2024).

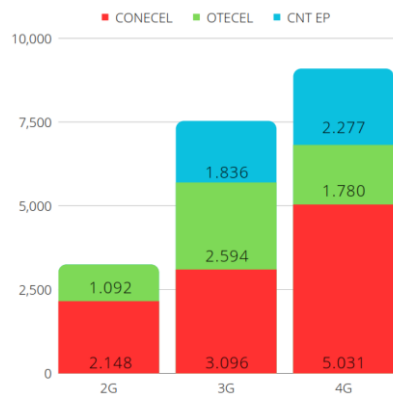


Figura 1.3.- Porcentaje de RBS Instaladas por prestador y tecnología 2022
Autor: Ministerio de Telecomunicaciones

Se prevé que el 5G beneficiará a sectores como la educación, la salud y el transporte, proporcionando servicios más rápidos y eficientes. No obstante, será crucial realizar inversiones en infraestructura y capacitar al personal para garantizar que Ecuador aproveche plenamente las ventajas de esta tecnología.

A nivel mundial, el 5G está avanzando rápidamente, mientras que Ecuador se encuentra en una etapa de transición en la que la modernización de su infraestructura es crucial para no quedarse atrás en la carrera tecnológica. El despliegue exitoso del 5G no solo mejorará la calidad de vida de los ecuatorianos, sino que también abrirá nuevas oportunidades para el crecimiento económico y la innovación.

1.2 Localización

La localización del proyecto será en la Ciudad de Guayaquil, Ecuador. Esto implica que todas las consideraciones de diseño, análisis sísmico y cargas de viento deben

estar alineadas con las normativas locales y las condiciones específicas de la región. Además, es necesario considerar las características geográficas y climáticas particulares de Guayaquil, como la influencia del clima tropical y la sismicidad de la zona.

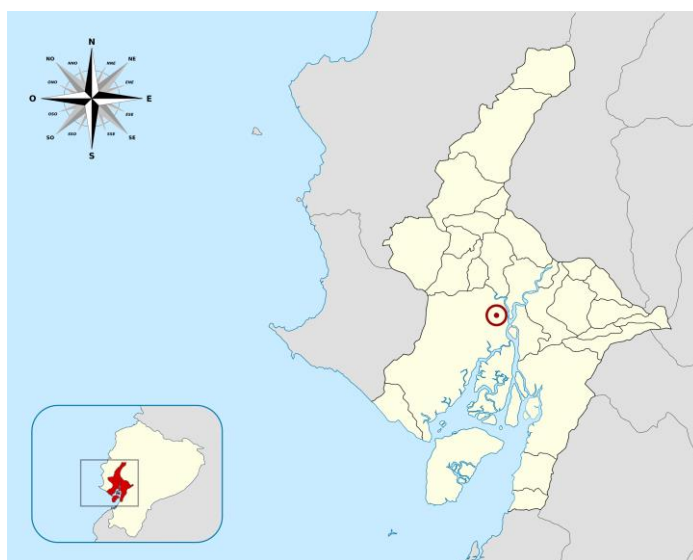


Figura 1.4. Ciudad de Guayaquil, diseño de infraestructura.

En caso de que no exista una norma local aplicable, se recurrirá a normas internacionales que brinden criterios de diseño y análisis adecuados para garantizar la seguridad y funcionalidad de la estructura. Esta flexibilidad en la aplicación de normativas permitirá que el proyecto cumpla con los estándares requeridos para su operación efectiva y segura en el entorno específico de Guayaquil.

1.3 Estudios previos

Para el desarrollo de este proyecto, se cuenta con antecedentes y diseños estructurales previos que han sido utilizados para la implementación de infraestructuras de telecomunicaciones destinadas a soportar las tecnologías de tercera generación (3G) y cuarta generación (4G). Estos diseños previos permiten tener una base sólida de análisis y referencia, especialmente en lo que respecta a las demandas estructurales generadas por los equipos de telecomunicaciones y las normativas vigentes en aquel momento.

Las torres que actualmente operan con 3G y 4G fueron diseñadas tomando en cuenta las especificaciones y limitaciones propias de dichas tecnologías, incluyendo la cantidad de equipos, el peso de las antenas, las configuraciones geométricas y las fuerzas ejercidas por factores como el viento y la sismicidad. Sin embargo, la evolución hacia la tecnología 5G impone nuevas exigencias estructurales debido a la mayor cantidad de equipos y la necesidad de una mayor densidad de antenas y sistemas asociados. Esta transición requiere un análisis exhaustivo de los diseños existentes y su capacidad para ser adaptados o reforzados.

En cuanto a la implementación de la tecnología 5G, ya se dispone de los equipamientos que se instalarán en la nueva estructura, lo que permite realizar una evaluación precisa de las cargas vivas adicionales que estos nuevos equipos impondrán sobre la torre. Los nuevos elementos incluyen antenas más sofisticadas y equipos auxiliares, cuyo peso y disposición en la torre difieren significativamente de las generaciones anteriores, lo que justifica la necesidad de optimizar el diseño estructural para cumplir con estas nuevas demandas.

El estudio de los diseños previos junto con los datos sobre los nuevos equipos de 5G proporciona la base para realizar una comparativa que permitirá evaluar las mejoras necesarias en cuanto a capacidad de carga, resistencia estructural y seguridad sismorresistente, optimizando así la infraestructura para el futuro de las telecomunicaciones.

1.4 Problemática a resolver

La rápida evolución de las telecomunicaciones ha generado una creciente demanda de infraestructura capaz de soportar nuevas tecnologías, especialmente con la inminente implementación de la red 5G. Las torres de telecomunicaciones existentes en la ciudad de Guayaquil fueron diseñadas principalmente para soportar las redes 3G y 4G, limitadas a las cargas y especificaciones de los equipos de esas generaciones. Estas estructuras, aunque aún funcionales, han llegado al límite de su capacidad debido a las actualizaciones y refuerzos sucesivos

que se han implementado para soportar tecnologías intermedias como el 3.5G y 4.5G (Vera Cárdenas, 2023).

El principal problema radica en que las torres actuales no están preparadas para soportar los nuevos equipos de telecomunicaciones de la tecnología 5G, que requieren una mayor cantidad de antenas, mayor densidad de dispositivos y una disposición espacial diferente. Las exigencias estructurales, en términos de capacidad de carga y resistencia a condiciones extremas de viento y sismos, se incrementan significativamente con el despliegue de la tecnología 5G, lo que convierte a la infraestructura actual en insuficiente y vulnerable (Córdova et al., 2020).

Adicionalmente, la ciudad de Guayaquil se encuentra en una zona de alta sismicidad y condiciones de viento específicas, lo que añade complejidad al diseño de nuevas torres o a la modificación de las existentes. El diseño de una torre de telecomunicaciones que pueda cumplir con las exigencias normativas sismorresistentes y de cargas de viento locales, a la vez que soporte los equipos de última generación, es un desafío técnico clave para garantizar la continuidad y calidad de los servicios de telecomunicaciones en la ciudad (Buenaño Silva, 2023)

1.5 Justificación

La importancia de resolver la problemática planteada radica en la necesidad de garantizar la continuidad y la calidad de los servicios de telecomunicaciones en la ciudad de Guayaquil, en un contexto de rápida evolución tecnológica. La transición hacia la tecnología 5G es inminente y fundamental para mejorar la velocidad de transmisión de datos, la capacidad de conectar más dispositivos y facilitar el desarrollo de ciudades inteligentes. No obstante, si no se actualizan los diseños de nuevas torres para los futuros despliegues de la red 5G, las consecuencias podrían ser graves. La falta de infraestructura adecuada podría ocasionar fallos estructurales, comprometiendo la seguridad de las torres y poniendo en riesgo la integridad de los equipos y la vida de las personas que trabajan en su mantenimiento. Además, la incapacidad de soportar los nuevos requerimientos tecnológicos afectaría la calidad del servicio, causando interrupciones en la

conectividad, lo que perjudicaría a millones de usuarios y a sectores clave como la industria, la salud y la educación. Esta situación retrasaría el desarrollo tecnológico de la región, impidiendo aprovechar los beneficios de una red 5G eficiente y moderna.

La resolución de esta problemática no solo impacta directamente el sector de las telecomunicaciones, sino que también plantea un desafío técnico en el campo de la ingeniería estructural. Se requiere el diseño de torres más eficientes, resistentes y seguras, capaces de soportar mayores cargas, tanto de los equipos de telecomunicaciones como de las exigentes condiciones ambientales, como los vientos fuertes y los eventos sísmicos. Además, la solución propuesta debe considerar que actualmente nos encontramos en una fase de transición tecnológica, donde las redes 3G, 4G y 5G deben coexistir. No obstante, se estima que en aproximadamente 10 años la tecnología 3G será desmantelada, lo que permitirá que la estructura diseñada tenga una vida útil prolongada de al menos 20 años más. Esto asegura que la infraestructura no solo cumpla con los estándares locales e internacionales, sino que también garantice la sostenibilidad a largo plazo y la capacidad de adaptarse a futuras necesidades tecnológicas.

Desde la perspectiva de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, este proyecto contribuye de manera significativa al **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**, en particular a la **meta 9.1**, que busca desarrollar infraestructuras resilientes y sostenibles. Esto es fundamental para el desarrollo de ciudades más conectadas e inteligentes. Además, apoya el **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles**, específicamente la **meta 11.5**, que promueve la reducción del impacto de desastres naturales, como los sismos, al fortalecer la resiliencia de las infraestructuras urbanas. A su vez, el proyecto facilita el acceso a tecnologías avanzadas que mejoran la calidad de vida de los ciudadanos. Finalmente, el diseño estructural sismorresistente optimizado se alinea con el **ODS 13: Acción por el Clima**, particularmente con la **meta 13.1**, que busca fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima, al prever las

condiciones de carga por viento y otros fenómenos climáticos, adaptando la infraestructura a los desafíos medioambientales actuales y futuros (ONU, 2024).

Este proyecto, por tanto, no solo responde a la necesidad urgente de modernizar la infraestructura para la tecnología 5G, sino que también refuerza la seguridad, sostenibilidad y adaptabilidad de las torres de telecomunicaciones en el contexto de una ciudad expuesta a riesgos sísmicos y climáticos. Resolver esta problemática tiene un impacto práctico directo en la ingeniería moderna, contribuyendo al progreso tecnológico y a la mejora de la calidad de vida en la región.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar una torre de telecomunicaciones autosoportada de 60 metros de altura, optimizada estructuralmente que soporte las demandas de la tecnología 5G, cumpliendo con las normativas locales e internacionales de resistencia sísmica y cargas de viento en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis estructural detallado de la torre de telecomunicaciones, incorporando las cargas muertas, vivas, sísmicas y de viento, según las normativas locales y la normativa TIA 222G.
- Desarrollar un diseño estructural sismorresistente que optimice la capacidad de carga de la torre, garantizando su estabilidad y seguridad frente a los eventos sísmicos característicos de la ciudad de Guayaquil.
- Comparar el diseño de la nueva torre con las estructuras existentes diseñadas para soportar la tecnología 3G y 4G, evaluando las mejoras en términos de eficiencia, resistencia y capacidad de adaptación a la nueva tecnología 5G.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Telecomunicaciones

Las telecomunicaciones son un conjunto de técnicas y tecnologías que permiten la transmisión de información a distancia mediante señales electromagnéticas. Estas señales pueden transmitir datos, voz, video e imágenes, y son fundamentales para la comunicación en la sociedad moderna. Las telecomunicaciones son la base de la conectividad global, lo que permite la interconexión de redes de computadoras, teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2024).

La evolución de las telecomunicaciones ha impulsado el desarrollo de nuevas infraestructuras, como torres de telecomunicaciones, que permiten el intercambio de grandes volúmenes de información en tiempo real. El despliegue de la red 5G es un hito importante en este campo, ya que ofrece una conectividad más rápida y eficiente en comparación con las generaciones anteriores de tecnologías (3G y 4G).

2.1.2 Red 5G

La red 5G es la quinta generación de tecnología de redes móviles, diseñada para mejorar las comunicaciones inalámbricas en términos de velocidad, latencia y capacidad. El 5G ofrece velocidades de transmisión de datos mucho más rápidas que sus predecesores, con un tiempo de respuesta casi instantáneo, lo que permite la ejecución de aplicaciones que requieren una conectividad robusta y confiable. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2024).

2.1.3 Torres de Telecomunicaciones

Las torres de telecomunicaciones son estructuras altas diseñadas para soportar antenas y equipos de transmisión de señal. Estas torres permiten la propagación de señales de radio y microondas a grandes distancias. Las torres autosoportadas son

una de las configuraciones más comunes y no necesitan tensores o soportes adicionales para mantenerse en pie, ya que la propia estructura proporciona la estabilidad necesaria (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2018).

2.1.4 Sismicidad

La sismicidad es la frecuencia, distribución e intensidad de los terremotos en una región determinada. En el caso de Guayaquil, la sismicidad es un factor crítico debido a su ubicación geográfica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona sísmicamente activa. Para garantizar la seguridad de las infraestructuras, es necesario realizar un diseño estructural sismorresistente que considere los efectos de posibles movimientos telúricos en la estabilidad y funcionalidad de la torre de telecomunicaciones.

El diseño sismorresistente es un conjunto de criterios y técnicas utilizadas en la ingeniería estructural para garantizar que las estructuras puedan soportar las fuerzas sísmicas sin sufrir daños catastróficos. En este contexto, la torre debe ser capaz de absorber y disipar la energía generada por los movimientos sísmicos, minimizando el riesgo de colapso (EPN, 2024).

2.1.5 Viento

El viento es una fuerza natural que ejerce presión sobre las superficies expuestas de una estructura. En el diseño estructural de torres de telecomunicaciones, el análisis de las cargas de viento es fundamental, ya que estas estructuras suelen estar expuestas a la intemperie. Las cargas de viento se calculan en función de la velocidad del viento, la forma de la estructura y la altura de la torre (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2018).

El programa Robot Structural Professional cuenta con un módulo de Cargas de Viento que permite simular y calcular las fuerzas ejercidas por el viento en la torre. Esto es especialmente importante en regiones como Guayaquil, donde las condiciones climáticas pueden generar vientos fuertes, que deben ser considerados en el diseño para evitar el colapso estructural.

2.1.6 Robot Structural Profesional Analysis

El viento es una fuerza natural que ejerce presión sobre las superficies expuestas de una estructura. En el diseño estructural de torres de telecomunicaciones, el análisis de las cargas de viento es fundamental, ya que estas estructuras suelen estar expuestas a la intemperie. Las cargas de viento se calculan en función de la velocidad del viento, la forma de la estructura y la altura de la torre.

El programa Robot Structural Professional cuenta con un módulo de Cargas de Viento que permite simular y calcular las fuerzas ejercidas por el viento en la torre. Esto es especialmente importante en regiones como Guayaquil, donde las condiciones climáticas pueden generar vientos fuertes, que deben ser considerados en el diseño para evitar el colapso estructural.

2.2 Marco metodológico

En el diseño estructural de la torre de telecomunicaciones autosoportada de 60 metros de altura para la ciudad de Guayaquil, se empleará una metodología basada en códigos y normativas internacionales aplicables, debido a la ausencia de normativas locales específicas en algunos aspectos. Esta metodología se basa en la utilización de software especializado como Robot Structural Professional para el análisis de cargas y validación estructural, en conjunto con el cumplimiento de la normativa TIA-222F y las condiciones geográficas y climáticas específicas de la región.

2.2.1 Identificación de los Códigos y Normativas Aplicables

El primer paso en el desarrollo del diseño es identificar los códigos y normativas aplicables. En Ecuador no existen normativas locales específicas para el diseño de torres de telecomunicaciones, por lo que se utilizarán principalmente normativas internacionales y nacionales complementarias. Las principales normativas que guiarán el proceso son:

- TIA-222F: Norma internacional que regula el diseño y construcción de torres de telecomunicaciones.
- ASCE 7-22: Norma utilizada para determinar cargas en edificaciones, incluyendo cargas de viento y sismo.

- AISC 360-22: Norma para el diseño de estructuras de acero, aplicable a la torre.
- AISC 341-22: Norma para el Diseño Sismoresistente de Estructuras en Acero.
- NEC-SE-AC: Norma Ecuatoriana de la Construcción para el diseño Estructuras en Acero.
- NEC-SE-CG: Norma Ecuatoriana de la Construcción para la asignación de cargas no sísmicas.

2.2.2 Determinación de las Cargas de Diseño

En esta etapa se determinarán todas las cargas que la torre de telecomunicaciones deberá soportar. Entre las cargas consideradas se encuentran:

- **Cargas muertas:** Peso propio de los materiales y equipos instalados (antenas, plataformas, cables, etc.).
- **Cargas vivas:** Cargas variables relacionadas con el mantenimiento y operación de la torre.
- **Cargas de viento:** Las cargas de viento se determinarán mediante el módulo de túnel de viento de Robot Structural Professional, utilizando los datos meteorológicos de la región de Guayaquil, que es una zona tropical sujeta a fuertes vientos.
- **Cargas sísmicas:** Se realizará un análisis sísmico basado en la sismicidad de la región, ya que Guayaquil se encuentra en una zona sísmica moderada-alta. Se seguirán las recomendaciones de la norma ASCE 7 para el cálculo de estas cargas.

2.2.3 Modelado y Diseño de los Elementos Estructurales

Una vez obtenidas las cargas, se procederá a realizar el modelado estructural de la torre utilizando el software Robot Structural Professional. Este programa permitirá crear un modelo tridimensional de la torre y simular las condiciones de carga que se aplicarán sobre ella. Los principales elementos estructurales a diseñar incluyen:

Montantes: Miembros verticales que soportan la mayor parte de las cargas.

Vigas y arriostramientos: Estructuras horizontales y diagonales que ayudan a distribuir las cargas y proporcionar estabilidad lateral.

2.2.4 Análisis y Diseño Estructural

El análisis de la torre se llevará a cabo mediante métodos de análisis estructural, utilizando principalmente el análisis elástico lineal para evaluar cómo la estructura responde bajo diferentes tipos de carga. También se aplicarán criterios de resistencia para garantizar que la torre pueda soportar las condiciones más extremas previstas en las normativas.

Se verificarán las deformaciones y desplazamientos de la torre bajo condiciones de carga de viento y sismo, ya que la estabilidad de la estructura es crucial para la seguridad de las telecomunicaciones.

2.2.5 Validación y Ajustes

Finalmente, los resultados obtenidos en el análisis estructural serán validados y comparados con los requisitos de las normativas aplicables. Se realizarán ajustes y optimizaciones si es necesario para garantizar que el diseño final cumpla con todos los requisitos de seguridad, eficiencia estructural y durabilidad.

Se prevé también que la torre tenga una vida útil de 20 años, tomando en cuenta que la coexistencia de tecnologías (3G, 4G y 5G) tendrá un impacto importante en su capacidad estructural. En este sentido, el diseño deberá ser lo suficientemente robusto como para soportar las futuras exigencias tecnológicas, y adaptable a las posibles actualizaciones que puedan surgir en la infraestructura de telecomunicaciones.

2.3 Trabajo de laboratorio o gabinete.

2.3.1 Definición de Materiales.

Para el diseño estructural de la torre de telecomunicaciones, se han seleccionado materiales que cumplan con los estándares de resistencia y durabilidad necesarios para soportar las cargas de viento, sismo y el peso de los equipos de telecomunicaciones. La estructura estará completamente fabricada en **acero A36**, un acero estructural de baja aleación con una resistencia mínima a la fluencia de 250 MPa, adecuado para soportar cargas estáticas y dinámicas. Este material es

ampliamente utilizado en estructuras de acero debido a su buena soldabilidad, ductilidad y resistencia, características que lo hacen ideal para estructuras que deben soportar condiciones climáticas y sísmicas exigentes.

A continuación, se presentan capturas del programa Robot Structural Professional donde se asignan los materiales seleccionados para los elementos estructurales y las conexiones de la torre.

The screenshot shows the 'Material Definition' dialog box with the 'Steel' tab selected. The 'Name' is 'STEEL A36' and the 'Description' is 'Carbon Fy 36 ksi'. The 'Elasticity' section includes: Young modulus, E: 2038901.71 (kgf/cm²); Poisson ratio, ν: 0.3; Shear modulus, G: 784203.81 (kgf/cm²). The 'Resistance' section includes: Characteristic: 2531.05 (kgf/cm²); Reduction factor for shear: 1.66; Limit strength for tension: 4077.80 (kgf/cm²). The 'Specific weight (unit weight):' is 7852 (kgf/m³), 'Thermal expansion coefficient:' is 0.000012 (1/°C), and 'Damping ratio:' is 0.06. The 'Annealed steel' checkbox is checked. At the bottom are buttons for 'Add', 'Delete', 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

Elasticity		Resistance	
Young modulus, E:	2038901.71 (kgf/cm ²)	Characteristic	2531.05 (kgf/cm ²)
Poisson ratio, ν:	0.3	Reduction factor for shear:	1.66
Shear modulus, G:	784203.81 (kgf/cm ²)	Limit strength for tension:	4077.80 (kgf/cm ²)

Specific weight (unit weight): 7852 (kgf/m³)
Thermal expansion coefficient: 0.000012 (1/°C)
Damping ratio: 0.06
☒ Annealed steel

Figura 2.5. Propiedades del Material A36

2.3.2 Definición de Secciones.

La estructura de la torre de telecomunicaciones se compone de tres elementos principales: **montantes**, **diagonales** y **cierres**. Cada uno de estos componentes cumple una función estructural específica y ha sido diseñado para optimizar la capacidad de carga y resistencia de la torre.

- **Montantes:** Son los elementos verticales principales de la torre, encargados de soportar la mayor parte de la carga axial y de transmitir las fuerzas desde las antenas y equipos hasta la base. Los montantes proporcionan rigidez a la estructura y contribuyen a su estabilidad global.
- **Diagonales:** Estos elementos se disponen en dirección inclinada para conectar los montantes y distribuir las cargas horizontales, como el viento y las fuerzas sísmicas, de manera equilibrada. Las diagonales refuerzan la estructura, evitando desplazamientos excesivos y proporcionando resistencia adicional contra cargas laterales.

- **Cierres:** Son los elementos horizontales que conectan los montantes entre sí y ayudan a mantener la estructura unida. Los cierres contribuyen a la rigidez de la torre y mejoran su desempeño frente a cargas de viento y sismo.

Para todos estos componentes, se ha seleccionado el uso de **perfiles tubulares de acero**. Este tipo de perfil es ideal para estructuras de telecomunicaciones debido a su alta resistencia y su capacidad para minimizar el peso total de la torre. Los perfiles tubulares también presentan una buena relación de resistencia a peso, lo que facilita su transporte e instalación, y ofrecen una menor resistencia al viento debido a su forma aerodinámica.

A continuación, se presentan capturas del programa Robot Structural Professional, donde se definen las secciones de cada uno de estos elementos estructurales.

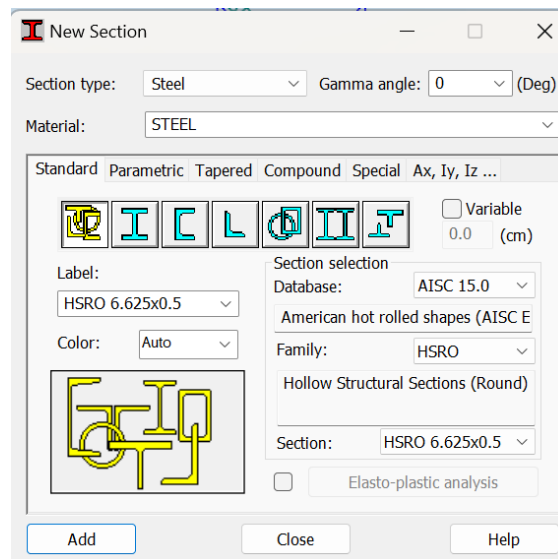


Figura 2.6. Sección Perfil Tubular R 6.625 x 0.5
Autor: José Reyes Serrano

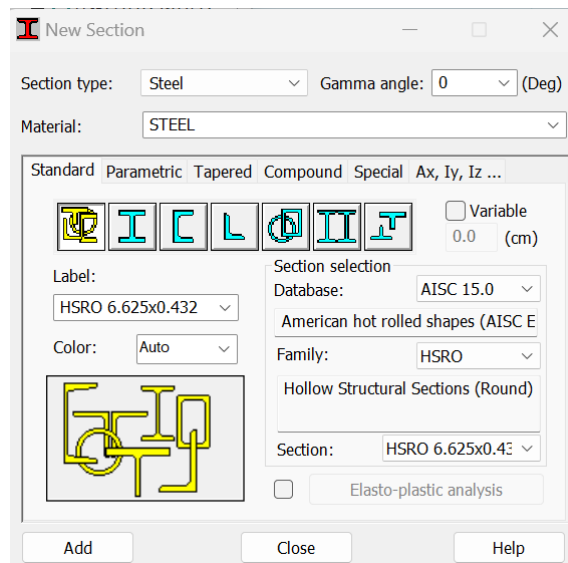


Figura 2.7. Sección Perfil Tubular R 6.625 x 0.43
Autor: José Reyes Serrano

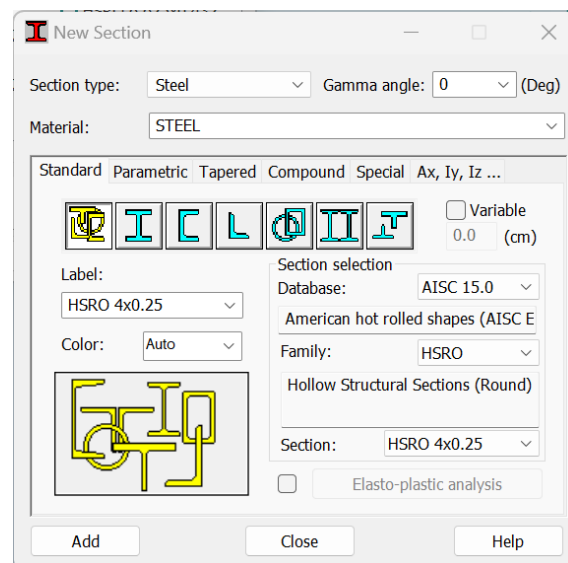


Figura 2.8. Sección Perfil Tubular R 4 x 0.25
Autor: José Reyes Serrano

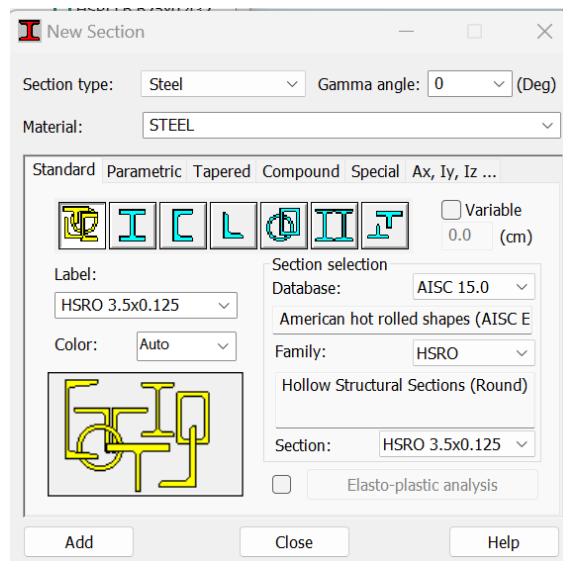


Figura 2.9 Sección Perfil Tubular R 3.5 x 0.125
Autor: José Reyes Serrano

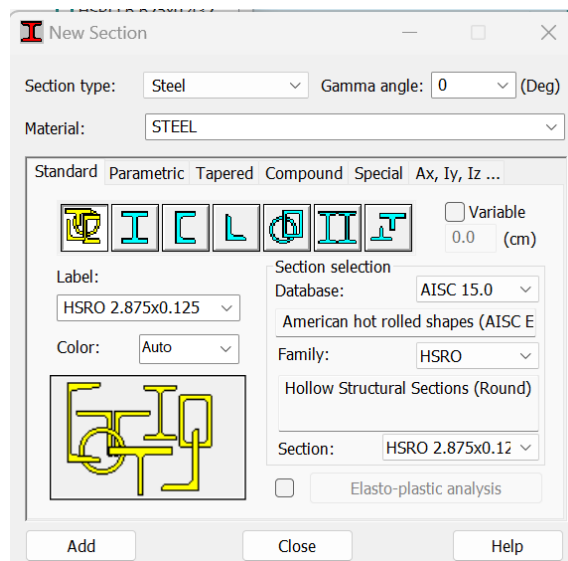


Figura 2.10 Sección Perfil Tubular R 2.875 x 0.125
Autor: José Reyes Serrano

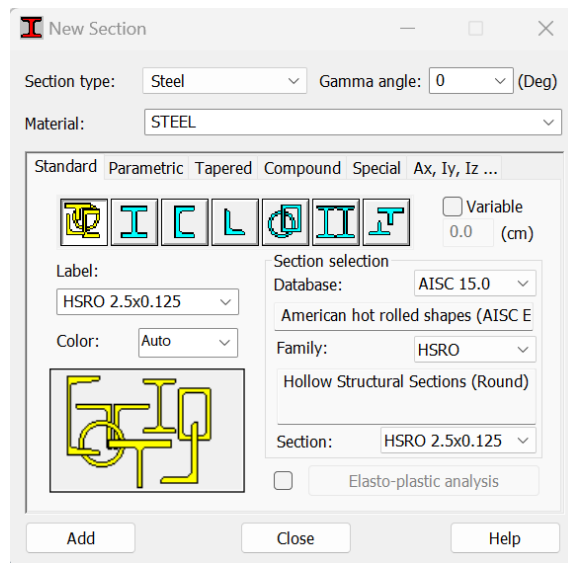


Figura 2.11 Sección Perfil Tubular R 2.5 x 0.125
Autor: José Reyes Serrano

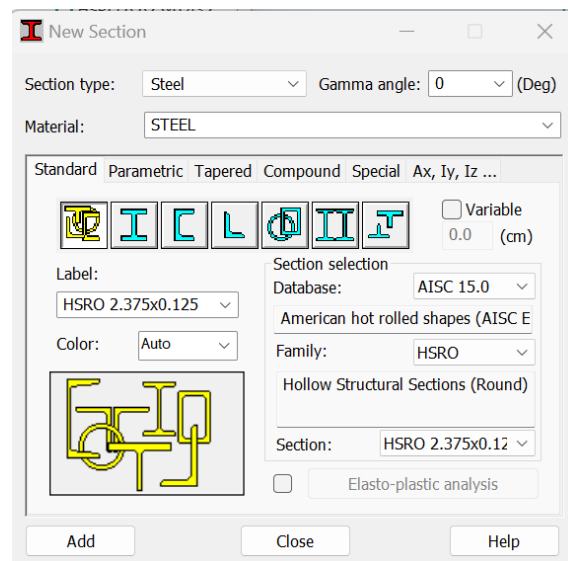


Figura 2.12 Sección Perfil Tubular R 2.375 x 0.125
Autor: José Reyes Serrano

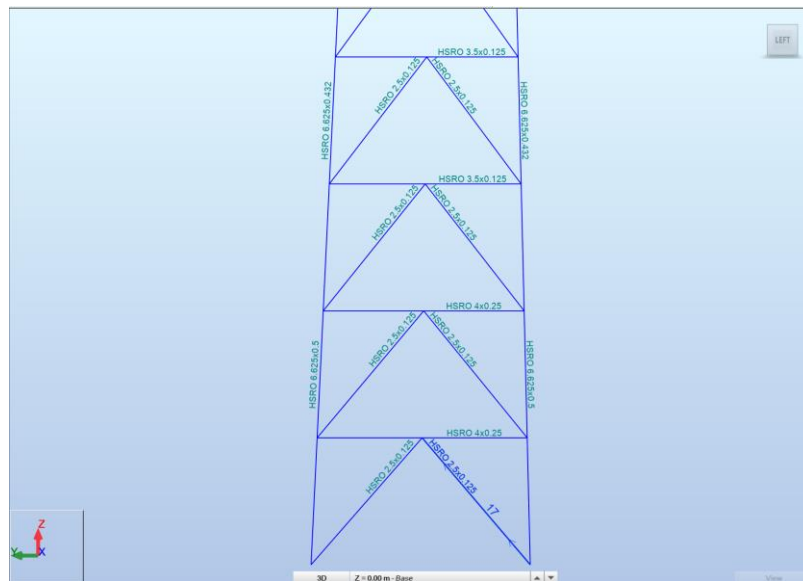


Figura 2.13. Asignación de Secciones en Tramo 1 y Tramo 2
Autor: José Reyes Serrano

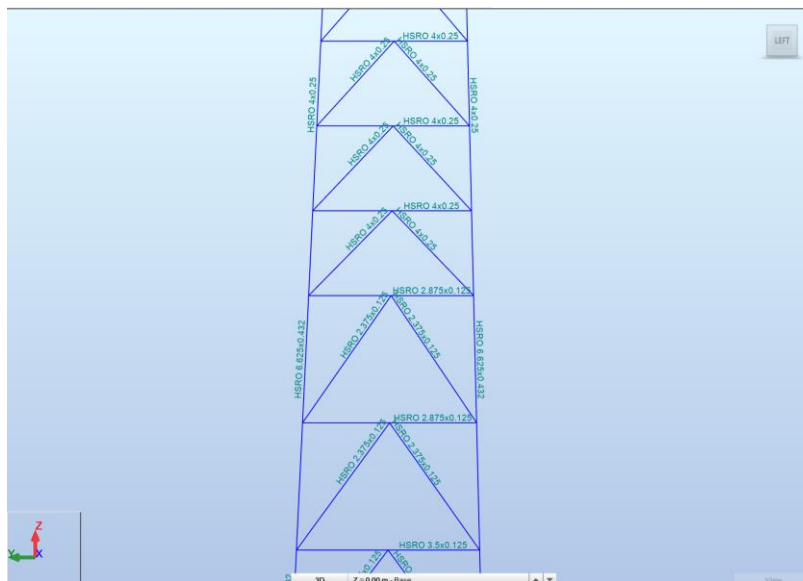


Figura 2.14. Asignación de Secciones en Tramo 3 y Tramo 4
Autor: José Reyes Serrano

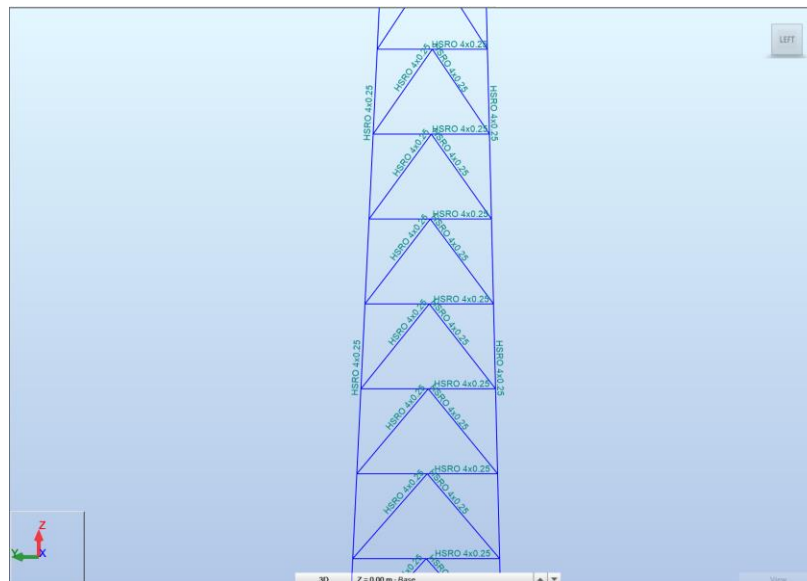


Figura 2.15. Asignación de Secciones en Tramo 5 y Tramo 6
Autor: José Reyes Serrano

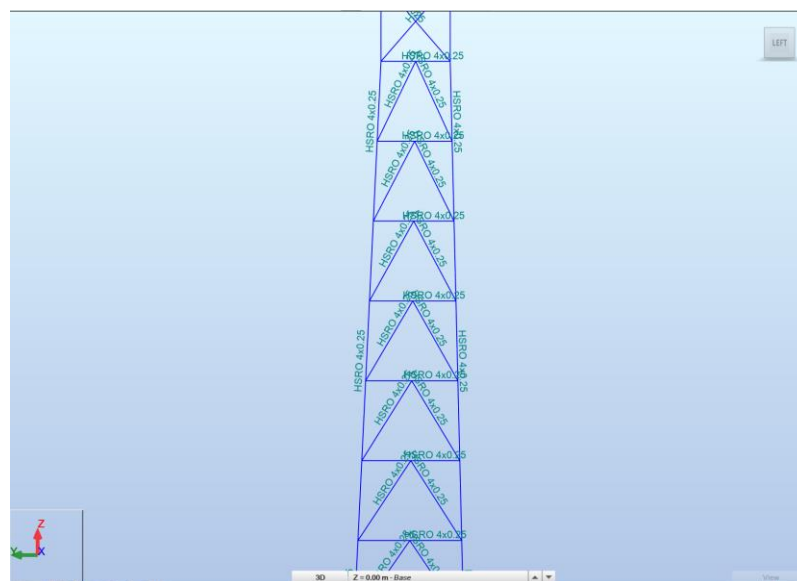


Figura 2.16. Asignación de Secciones en Tramo 7 y Tramo 8
Autor: José Reyes Serrano

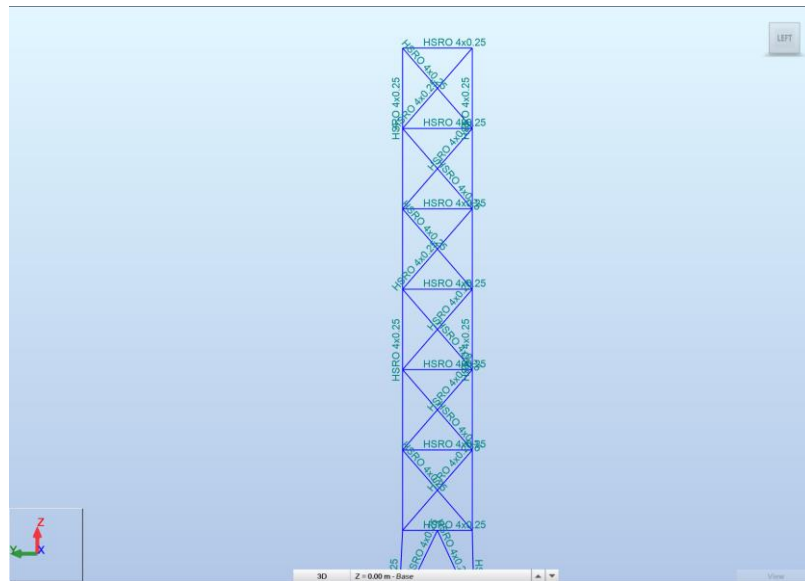


Figura 2.17. Asignación de Secciones en Tramo 9 y Tramo 10
Autor: José Reyes Serrano

2.3.3 Asignación de Cargas.

En el diseño estructural de la torre de telecomunicaciones, se deben considerar distintas cargas que actuarán sobre la estructura durante su vida útil. La asignación de cargas es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de la torre frente a las fuerzas que ejercen tanto los equipos de telecomunicaciones como las condiciones ambientales, como el viento y los sismos.

Las cargas asignadas en este proyecto se dividen en **carga muerta**, **carga viva**, **carga de viento** y **carga sísmica**, cada una de las cuales se define y aplica de acuerdo con las normativas y los requisitos de seguridad estructural específicos para el diseño de torres.

2.3.3.1 Carga Muerta.

La **carga muerta** representa el peso permanente de los equipos y componentes que forman parte de la torre de telecomunicaciones. En este caso, incluye el peso de las antenas destinadas a las tecnologías **3G**, **LTE (4G)** y **5G**, las cuales están distribuidas estratégicamente a diferentes alturas para maximizar la cobertura y el rendimiento de las señales de telecomunicaciones.

- **Antenas 3G y 5G:** Estas antenas están ubicadas en el nivel más alto de la torre, a **60 metros** de altura, con el objetivo de garantizar una transmisión óptima de las señales en áreas más amplias y alcanzar la máxima eficiencia en la cobertura.
- **Antenas LTE (4G):** Colocadas a una altura intermedia de **54 metros**, optimizan la transmisión de datos móviles, cumpliendo con las exigencias de la tecnología 4G.

Cada antena tiene un peso de **50 kg**, que se suma al peso total de la estructura y se aplica en los puntos correspondientes del modelo estructural para simular su efecto en la torre. Estas cargas se consideran permanentes y afectan tanto las **cargas verticales** como las **cargas combinadas** de la estructura, influyendo directamente en el diseño de los elementos principales como los montantes, diagonales y cierres.

A continuación, se presentan capturas del programa Robot Structural Professional donde se muestra la asignación de estas cargas muertas, distribuidas según las alturas indicadas y el peso de cada antena.

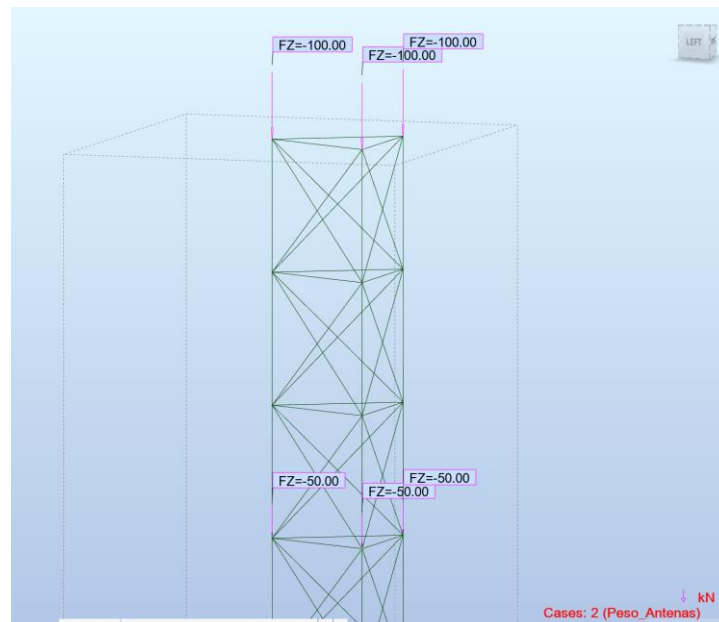


Figura 2.18. Asignación de Carga Muerta por peso de las Antenas
Autor: José Reyes Serrano

2.3.3.2 Carga Viva.

La carga viva corresponde a las cargas temporales asociadas a la presencia de personal durante las actividades de inspección, instalación y mantenimiento de los equipos de telecomunicaciones en la torre. Estas cargas, aunque no permanentes, tienen un impacto significativo en el diseño estructural debido a los esfuerzos adicionales que generan en los elementos principales de la estructura.

Para este proyecto, la carga viva se asignará considerando la presencia de tres personas, con un peso promedio de 100 kg por persona, lo que da un total de 300 kg. Con el objetivo de analizar la condición más desfavorable para la estructura, esta carga se aplicará como una carga puntual a una altura de 60 metros, en el nivel más alto de la torre, donde se encuentran las antenas principales.

El análisis de esta carga permitirá verificar la capacidad de la torre para soportar estas condiciones temporales sin comprometer su estabilidad ni generar deformaciones excesivas. Las plataformas y otros elementos estructurales en el nivel superior también serán evaluados para garantizar que cumplan con los requisitos de seguridad y resistencia.

A continuación, se presentan capturas del programa Robot Structural Professional, donde se muestra la asignación de esta carga viva puntual en el nivel más desfavorable de la torre.

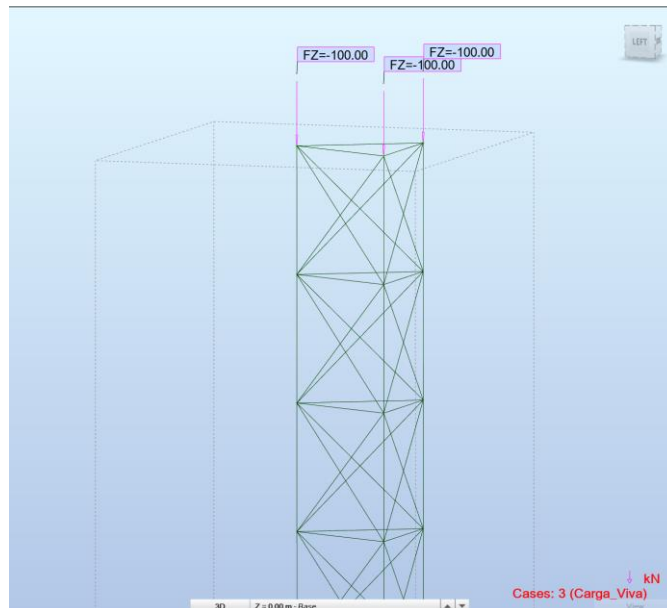


Figura 2.19. Asignación de Carga Viva
Autor: José Reyes Serrano

2.3.3.3 Carga Sísmica.

El diseño sísmico de la torre se realiza conforme a las disposiciones establecidas en la **TIA 222-G**, considerando que el análisis debe garantizar la seguridad estructural frente a las fuerzas dinámicas producidas por un evento sísmico.

De acuerdo con el **apartado 2.7.9** de la norma TIA 222-G, el método seleccionado para el análisis sísmico es el **método de análisis modal**, debido a las características de la estructura. Este procedimiento se utiliza para evaluar estructuras que, como esta torre, presentan alturas significativas y propiedades dinámicas complejas.

El análisis modal permite considerar los efectos de las vibraciones naturales de la torre y su interacción con las fuerzas sísmicas. Para ello, se identifican los modos de vibración principales y se evalúan las respuestas estructurales asociadas a cada uno. Este método es particularmente adecuado para estructuras altas y esbeltas como las torres de telecomunicaciones, ya que proporciona una estimación más precisa de las distribuciones de fuerzas y desplazamientos.

En este proyecto, la torre es clasificada como **autosoportada de celosía**, con una altura de **60 metros**, lo cual se encuentra dentro de los límites permitidos para utilizar

el análisis modal de acuerdo con la tabla **2-10** de la norma (donde no se imponen restricciones de altura para este tipo de análisis en estructuras autosoportadas).

A continuación, se realizará la modelación estructural en el programa **Robot Structural Professional**, donde se aplicarán las cargas sísmicas siguiendo las especificaciones del análisis modal. Esto incluye:

- Determinación de los parámetros sísmicos según la **zonificación sísmica de Ecuador** y los valores recomendados por la TIA 222-G.
- Evaluación de los modos de vibración predominantes y sus periodos fundamentales.
- Cálculo de las fuerzas sísmicas distribuidas en la estructura.

El análisis garantizará que la torre cumpla con los requisitos de resistencia y desplazamientos permitidos, asegurando la estabilidad estructural frente a eventos sísmicos.

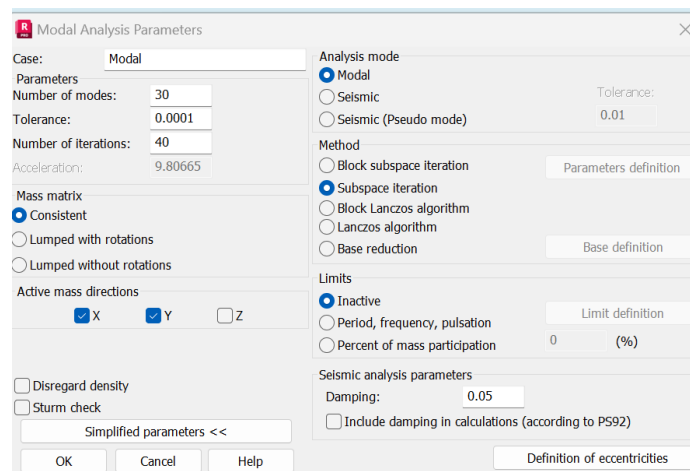


Figura 2.20. Creación de Carga Modal
Autor: José Reyes Serrano

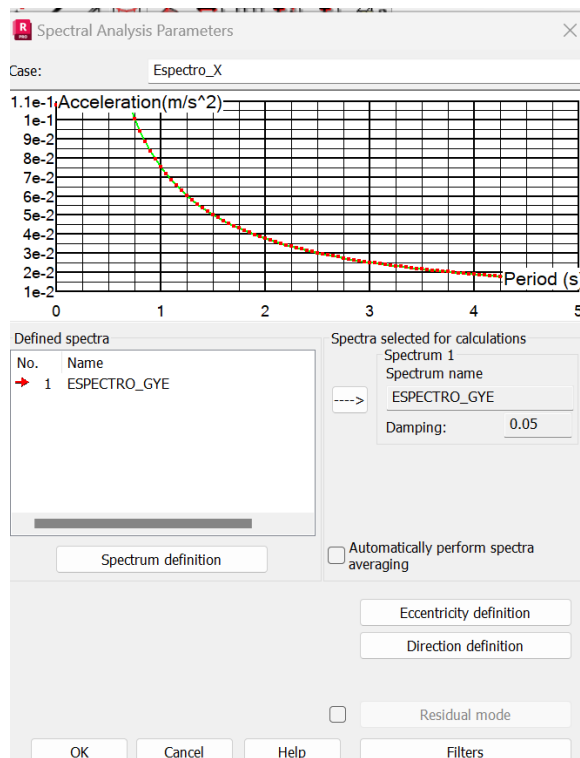


Figura 2.21. Creación de Espectro de Diseño en Dirección X
Autor: José Reyes Serrano

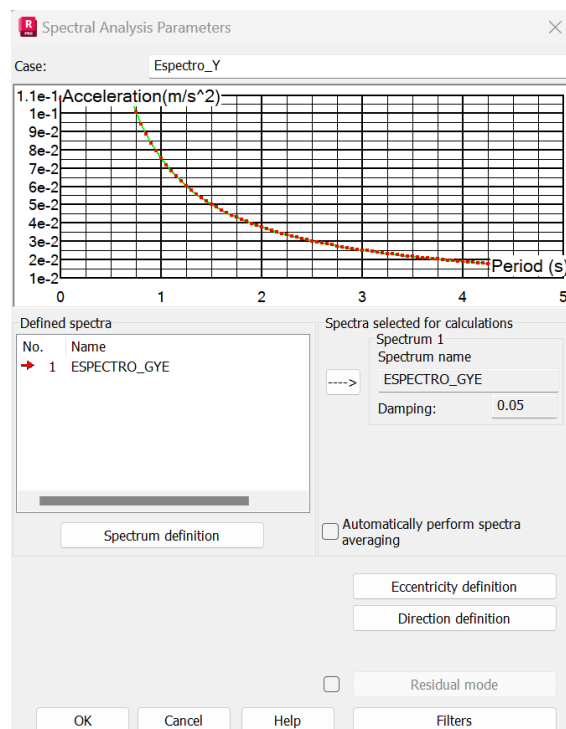


Figura 2.22. Creación de Espectro de Diseño en Dirección Y
Autor: José Reyes Serrano

2.3.3.4 Carga Viento.

2.3.3.4.1 Categoría de Exposición

De acuerdo con la norma **TIA 222-G**, específicamente el capítulo **2.6.5.1**, la **categoría de exposición** se clasifica según el entorno en el que se encuentra ubicada la estructura y el grado de obstrucciones que puedan afectar las velocidades del viento.

La ciudad de **Guayaquil**, donde se diseñará la torre de telecomunicaciones, se caracteriza por un entorno **urbano o suburbanizado**, donde predominan edificaciones de mediana altura, vegetación y otras estructuras que atenúan parcialmente los efectos del viento. Por esta razón, de acuerdo con lo estipulado en la **TIA 222-G**, se clasifica como **Categoría B**.

Esta categorización es fundamental, ya que afecta directamente la asignación de las cargas de viento en el diseño estructural de la torre, asegurando que las condiciones locales sean correctamente modeladas y que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad. Con base en lo anterior, se utiliza los coeficientes de la Tabla 1.- Coeficientes de Factores de Exposición.

Tabla 1.- Coeficientes de Factores de Exposición

Categoría de Exposición	Z_g	α	K_{zmin}	K_e
B	366 m	7.00	0.70	0.90

Fuente: Norma TIA 222 G, Tabla 2-4.

2.3.3.4.2 Factor de Direccionalidad

El Factor de Direccionalidad se seleccionará conforme a los valores establecidos en la Tabla 2-2 de la norma TIA 222-G. Al utilizar los valores de esta tabla, garantizamos que el diseño incorpore los ajustes necesarios para reflejar las condiciones reales de carga, optimizando así la seguridad y el rendimiento de la torre de telecomunicaciones.

Tabla 2.- Factor de probabilidad de la dirección del viento

Tipo de Estructura	Factor de probabilidad de la dirección del viento, K_d.
Estructuras de celosía con secciones transversales triangulares, cuadradas o rectangulares incluyendo los accesorios	0.85

Fuente: Norma TIA 222 G, Tabla 2-2.

2.3.3.4.3 Categoría Topográfica

De acuerdo con la sección 2.6.6.2 y la Tabla 2-5 de la norma TIA 222-G, la Categoría Topográfica se seleccionará en función de la ubicación y las condiciones geográficas del sitio. Para el diseño de la torre en la ciudad de Guayaquil, se asignará la Categoría 1, ya que corresponde a terrenos planos o suavemente ondulados, donde no existen efectos topográficos significativos que aumenten las cargas de viento.

2.3.3.4.4 Coeficiente de la Categoría Topográfica

Tabla 3.- Coeficientes de Factores de Exposición

Categoría Topográfica	K_t	f
2	0.43	1.25
3	0.53	2.00
4	0.72	1.50

Fuente: Norma TIA 222 G, Tabla 2-5.

Al ser categoría I, se establece el valor de $K_{zt}=1$.

2.3.3.4.5 Coeficiente de Presión de Velocidad

De acuerdo con la sección 2.6.5.2 de la norma TIA 222-G, el Coeficiente de Presión de Velocidad se determina en función de la altura sobre el terreno y la categoría de exposición seleccionada. Para este proyecto, dado que la torre está en Guayaquil y la

categoría de exposición es B, se utilizarán los valores de correspondientes a esta categoría y altura, como se establece en las tablas y fórmulas indicadas en la norma.

El cálculo del coeficiente permite ajustar la presión de viento en función de las características del terreno, asegurando que las cargas de viento sean representativas de las condiciones locales.

$$K_z = 2.01 (Z/Z_g)^{2/\alpha} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

K_z : coeficiente de exposición de presión por velocidad evaluado a la altura z

Z : altura sobre el nivel del terreno

Z_g : coeficiente de la categoría de exposición. Tabla 2.

α : exponente de la velocidad para ráfaga de 3 Segundos. Tabla 2.

2.3.3.4.6 Factor de Reducción de altura

$$K_h = e^{(fz/h)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$K_{zt} = (1 + K_e k_t / K_h)^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

e : logaritmo natural, base = 2.718

K_e : constante del terreno dado en la Tabla 2.

k_t : constante topográfica dada en la Tabla

f : factor de altura dado en la Tabla

z : Altura media de la estructura

h : Altura de la estructura.

K_{zt} : 1.0 para categoría topográfica

2.3.3.4.7 Presión de Viento

De acuerdo con la sección **2.6.5.2** de la norma **TIA 222-G**, para calcular la presión ejercida por el viento sobre la estructura se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

K_z : coeficiente de exposición de presión por velocidad, Ecuación 1

K_{zt} : Ecuación 3

K_d : Factor de direccionalidad 7.4.4.3

V : velocidad de viento m/s

I : Factor Importancia

2.3.3.4.8 Factor de Ráfaga

El Factor de Ráfaga G_h se calcula según lo estipulado en la sección 2.6.7 de la norma TIA 222-G, teniendo en cuenta las características geométricas de la torre y su altura. Este factor corrige los efectos del viento que actúan sobre la estructura debido a ráfagas, considerando tanto su intensidad como la forma de la torre.

En el caso de esta torre de telecomunicaciones, con una altura de 60 metros y diseñada como una celosía reticulada, el valor correspondiente de G_h es de 0.85, tal como se establece en la norma. Este valor refleja la eficiencia de las estructuras de celosía para disipar la presión del viento, en comparación con otras configuraciones estructurales.

El uso de este factor asegura que las cargas de viento estén correctamente ajustadas a las características específicas de la torre, contribuyendo a un diseño seguro y optimizado.

2.3.3.4.9 Fuerza de viento sobre la estructura

La fuerza de viento sobre la estructura se evalúa considerando los diferentes segmentos de la torre, cada uno de los cuales experimenta una acción distinta debido a variaciones en la presión del viento y la geometría de la estructura. De acuerdo con los cálculos realizados en el software estructural, la fuerza total del viento sobre la estructura es **6,020.57 kgf**, distribuidos en 10 segmentos principales.

Cada segmento ha sido analizado para determinar las fuerzas sobre las caras de la estructura en función de los siguientes parámetros:

1. **Área Efectiva (AE):** Representa el área que está directamente expuesta al viento.
2. **Coefficiente de Fuerza (CF):** Determinado con base en los factores aerodinámicos y las características de la estructura.
3. **Presión del Viento (qz):** Calculada a diferentes alturas, incrementándose conforme aumenta la altura.
4. **Altura (z):** Define la posición relativa del segmento, lo que afecta la presión dinámica ejercida por el viento.

Los segmentos se enumeran de la base hacia la cima de la torre, con un incremento de fuerzas debido a la mayor exposición al viento a mayores alturas. Las fuerzas específicas para cada segmento son:

- **Segmento 1** (Base): 550.20 kgf
- **Segmento 5** (Altura media): 656.41 kgf
- **Segmento 10** (Cima): 648.65 kgf

2.3.3.4.10 Fuerza de viento sobre los equipos

Superficie: S1

Tipo de equipo: Otros

Área: 0.62 m²

Posición de la superficie del equipo: Normal con respecto a la dirección del viento

Área efectiva a barlovento: $S = 0.62 \text{ m}^2$

Coefficientes de fuerza: $CA = 1.400$

Coefficiente de presión $qz = 117.24 \text{ kgf/m}^2$

Altura del punto medio: 60.00 m

Área del equipo considerada en los cálculos de relación de solidez (e): No

Cargas nodales:

147 $F = 38.11 \text{ kgf}$

149 F= 38.11 kgf

148 F= 38.11 kgf

Surface : S2

Tipo de equipo: Otros

Área: 0.62 m²

Posición de la superficie del equipo: Normal con respecto a la dirección del viento

Área efectiva a barlovento:

Coeficientes de fuerza: CA = 1.400

Coeficiente de presión: qz = 114.95 kgf/m²

Altura del punto medio: 56.00 m

Área del equipo considerada en los cálculos de relación de solidez (e): No

Cargas nodales:

143 F= 37.07 kgf

141 F= 37.07 kgf

142 F= 37.07 kgf

Superficie: S3

Tipo de equipo: Antenas paraboloideas con radomo

Área: 1.13 m²

Diámetro: 1.20 m

Posición de la superficie del equipo: Normal con respecto a la dirección del viento

Coeficientes de fuerza: CA = 0.002

Coeficientes de fuerza: CS = 0.000

Coeficientes de fuerza: CM = 0.000

Altura del punto medio: 48.00 m

Coeficiente: 1.565

Ángulo del viento: 0.000 deg

Área del equipo considerada en los cálculos de relación de solidez (e): No

Cargas nodales:

131 F= 119.59 kgf F= 0.00 kgf

Superficie: S4

Tipo de equipo: Antenas paraboloïdes con radomo

Área: 0.28 m²

Diámetro: 0.60 m

Posición de la superficie del equipo: Normal con respecto a la dirección del viento

Coeficientes de fuerza: CA = 0.002

Coeficientes de fuerza: CS = 0.000

Coeficientes de fuerza: CM = 0.000

Altura del punto medio: 42.00 m

Coeficiente: 1.507

Ángulo del viento: 0.000°

Área del equipo considerada en los cálculos de relación de solidez (e): No

Cargas nodales:

108 F= 9.61 kgf F= 0.00 kgf

113 F= 9.61 kgf F= 0.00 kgf

110 F= 9.61 kgf F= 0.00 kgf

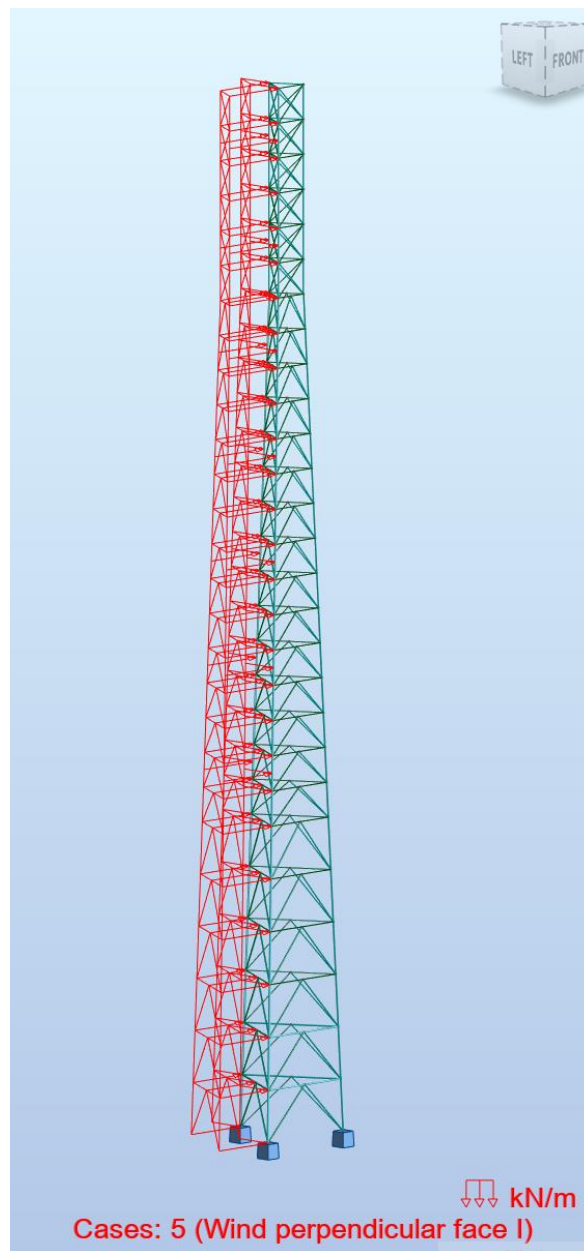


Figura 2.23. Asignación de Carga de Viento

2.3.4 Combinaciones de Carga.

Las combinaciones de carga se establecen para asegurar que la estructura de la torre de telecomunicaciones pueda resistir las diversas fuerzas que actúan sobre ella simultáneamente. Según lo indicado en la sección 2.3.2 de la norma TIA 222-G, las cargas que deben ser combinadas incluyen las cargas muertas, cargas vivas, cargas de viento y sísmicas. Estas combinaciones deben ser evaluadas para asegurar la estabilidad estructural bajo las condiciones más desfavorables.

Las combinaciones de carga se definen como se detalla en la norma NEC 2015:

- Combo 1: 1.4 D
- Combo 2: 1.2 D + 1.6 L
- Combo 3: 1.2 D + 0.5 W
- Combo 4: 1.2 D + 1.0 W + 1.0 L
- Combo 5: 1.2 D + 1.0 E + 1.0 L
- Combo 6: 0.9 D + 1.0 W
- Combo 7: 0.9 D + 1.0 E

Combinations	Name	Analysis type	Combination	Case nature	Definition
10 (C)	COMB1	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.40$
11 (C)	COMB2	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.20+3*1.60$
12 (C)	COMB3	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.20+5*0.50$
13 (C)	COMB4	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.20+(3+5)*1.00$
14 (C) (CQC)	COMB5	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.20+(3+8)*1.00$
15 (C) (CQC)	COMB6	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*1.20+(3+9)*1.00$
16 (C)	COMB7	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*0.90+5*1.00$
17 (C) (CQC)	COMB8	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*0.90+8*1.00$
18 (C) (CQC)	COMB9	Linear Combina	ULS	D Dead load	$(1+2)*0.90+9*1.00$

Figura 2.24. Creación de Carga Modal
Autor: José Reyes Serrano

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

El análisis estructural de la torre de telecomunicaciones autosoportada de 60 metros de altura se ha realizado conforme a las directrices establecidas en la norma TIA 222-G, utilizando el software Robot Structural Professional. Este análisis ha incluido una evaluación detallada de las cargas, los materiales, las secciones estructurales y las combinaciones de carga, asegurando un diseño sismorresistente y óptimo para las condiciones específicas de la ciudad de Guayaquil.

3.2 Análisis de resultados

En el análisis estructural realizado, la combinación de carga que resultó más crítica para el diseño de la torre de telecomunicaciones corresponde a $1.2D + L + W$, donde "D" representa la carga muerta, "L" la carga viva y "W" la carga de viento. Esta combinación se identificó como la más significativa debido a que las fuerzas generadas por el viento predominan sobre las fuerzas sísmicas en estructuras de gran altura y geometría ligera como una torre autosoportada de celosía. Aunque el sismo es menos determinante en términos de magnitud de esfuerzos, debe considerarse en el análisis, especialmente porque la torre se ubica en Guayaquil, una zona clasificada como sísmica según las normativas locales y globales. Esto garantiza que el diseño sea capaz de resistir eventos sísmicos, aunque las cargas de viento sean el factor predominante.

Modo 1 y 2 tienen una mayor participación de masa en las direcciones UX y UY, correspondientes a traslaciones principales. A partir del Modo 3 en adelante, se observa un aumento progresivo de la participación de la masa, con concentraciones cercanas al 67.67% en las últimas frecuencias. La respuesta torsional (UZ) es mínima, lo que indica que la estructura está diseñada con un adecuado control de la torsión.

3.2.1 Modos de Vibración

El análisis modal realizado permitió identificar los **modos de vibración más significativos** de la torre de telecomunicaciones, considerando su altura de 60 metros y su configuración estructural como una celosía triangular. Este análisis es crucial para evaluar la respuesta dinámica de la torre ante cargas sísmicas y de viento, especialmente en una zona sísmica como Guayaquil.

Los resultados muestran los primeros modos de vibración, que incluyen:

- **Modo traslacional:** Movimiento lateral en una dirección principal de la torre.
- **Modo torsional:** Rotación alrededor del eje vertical de la estructura, típico de estructuras de celosía.

La imagen presentada a continuación ilustra los patrones de deformación correspondientes a estos modos, con sus respectivos periodos fundamentales de vibración. Estos resultados permiten optimizar el diseño estructural para mitigar desplazamientos y garantizar la estabilidad de la torre bajo condiciones dinámicas.

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Cur.mas.UX (%)	Cur.mas.UY (%)	Cur.mas.UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
4/ 1	1.02	0.98	15.74	28.02	0.0	15.74	28.02	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 2	1.02	0.98	43.77	43.77	0.0	28.02	15.74	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 3	3.45	0.29	47.24	45.64	0.0	3.47	1.88	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 4	3.45	0.29	49.12	49.11	0.0	1.88	3.47	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 5	3.49	0.29	49.12	49.11	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 6	3.72	0.27	52.13	58.41	0.0	3.02	9.29	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 7	3.72	0.27	61.42	61.42	0.0	9.29	3.01	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 8	3.84	0.26	61.42	61.42	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 9	3.89	0.26	61.53	63.04	0.0	0.10	1.62	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 10	3.89	0.26	63.15	63.14	0.0	1.62	0.10	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 11	3.90	0.26	63.15	63.14	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 12	3.97	0.25	64.00	66.50	0.0	0.85	3.36	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 13	3.97	0.25	67.36	67.36	0.0	3.37	0.85	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 14	4.27	0.23	67.46	67.47	0.0	0.10	0.12	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 15	4.27	0.23	67.58	67.57	0.0	0.12	0.10	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 16	4.27	0.23	67.58	67.57	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 17	4.73	0.21	67.58	67.57	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 18	4.74	0.21	67.59	67.58	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 19	4.74	0.21	67.59	67.58	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 20	5.09	0.20	67.59	67.62	0.0	0.00	0.03	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 21	5.09	0.20	67.63	67.62	0.0	0.03	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 22	5.09	0.20	67.63	67.62	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 23	5.10	0.20	67.63	67.62	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 24	5.15	0.19	67.63	67.62	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 25	5.15	0.19	67.63	67.62	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 26	5.50	0.18	67.63	67.62	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 27	5.50	0.18	67.63	67.66	0.0	0.00	0.03	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 28	5.50	0.18	67.67	67.66	0.0	0.03	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 29	5.54	0.18	67.67	67.66	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0
4/ 30	5.60	0.18	67.67	67.66	0.0	0.00	0.00	0.0	4668.98	4668.98	0.0

Figura 2.25. Modos de Vibración – Análisis Modal
Autor: José Reyes Serrano

3.2.2 Desplazamiento

En la figura se observa el desplazamiento máximo de la torre debido a la acción del viento en la cara perpendicular (Caso 5). A partir del análisis realizado en Robot Structural Professional, se obtienen los siguientes resultados:

- Desplazamiento máximo: 63.8 cm.
- Altura total de la torre: 60 m.

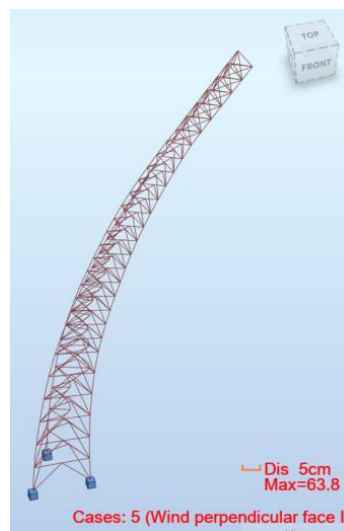


Figura 2.26. Deformada por Carga de Viento
Autor: José Reyes Serrano

3.2.3 Peso de la estructura

Uno de los parámetros fundamentales en el diseño estructural es la optimización del peso de la estructura, ya que influye directamente en los costos de materiales, transporte e instalación. El diseño propuesto, que utiliza perfiles cerrados (como tubulares), ha permitido obtener una estructura con un peso total de 4668.98 kg, lo que representa una reducción significativa en comparación con una torre de características similares construida con perfiles abiertos (ángulos y perfiles tipo U/V), cuyo peso aproximado es de 10,000 kg.

3.2.4 Esfuerzo en los perfiles

En el análisis estructural de la torre, se evaluaron los **esfuerzos generados en los perfiles** debido a las diferentes combinaciones de carga consideradas, especialmente aquellas relacionadas con la **acción del viento** y las **cargas gravitacionales**. Este

análisis es crucial para garantizar que los perfiles seleccionados trabajen de manera eficiente, sin superar los **límites permisibles** establecidos por las normativas, como la **TIA-222-G** y el AISC 360-22.

Tabla 4.- Coeficientes de Factores de Exposición

Miembro	Sección	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 TR_1_M						
2 Simple member_2	HSRO 6.625x0.432	STEEL	107.28	107.28	1.02	13 COMB4
2 Simple member_2	HSRO 6.625x0.5	STEEL	108.32	108.32	0.9	13 COMB4
2 Simple member_2	HSRO 6.875x0.188	STEEL	99.68	99.68	2.01	13 COMB4
Code group : 2 TR_1_D						
6 Simple member_6	HSRO 2.375x0.25	STEEL	219.43	219.43	0.5	13 COMB4
6 Simple member_6	HSRO 2.5x0.125	STEEL	197.94	197.94	0.73	13 COMB4
6 Simple member_6	HSRO 2.5x0.188	STEEL	202.42	202.42	0.52	13 COMB4
Code group : 3 TR_1_D						
6 Simple member_6	HSRO 2.375x0.25	STEEL	219.43	219.43	0.5	13 COMB4
6 Simple member_6	HSRO 2.5x0.125	STEEL	197.94	197.94	0.73	13 COMB4
6 Simple member_6	HSRO 2.5x0.188	STEEL	202.42	202.42	0.52	13 COMB4
Code group : 4 TR_2_M						
165 Simple member_165	HSRO 6.625x0.375	STEEL	106.38	106.38	1.07	13 COMB4
165 Simple member_165	HSRO 6.625x0.432	STEEL	107.28	107.28	0.94	13 COMB4
165 Simple member_165	HSRO 6.625x0.5	STEEL	108.32	108.32	0.83	13 COMB4
Code group : 5 TR_2_D						
223 Simple member_223	HSRO 2.375x0.25	STEEL	210.49	210.49	0.41	13 COMB4
223 Simple member_223	HSRO 2.5x0.125	STEEL	189.87	189.87	0.61	13 COMB4
223 Simple member_223	HSRO 2.5x0.188	STEEL	194.17	194.17	0.44	13 COMB4
Code group : 6 TR_2_C						
25 Simple member_25	HSRO 3x0.25	STEEL	210.89	210.89	0.23	16 COMB7
25 Simple member_25	HSRO 3.5x0.125	STEEL	172.3	172.3	0.31	16 COMB7
25 Simple member_25	HSRO 3.5x0.188	STEEL	175.66	175.66	0.21	16 COMB7
Code group : 7 TR_3_M						
166 Simple member_166	HSRO 6x0.375	STEEL	118.25	118.25	1.26	13 COMB4
166 Simple member_166	HSRO 6x0.5	STEEL	120.42	120.42	0.99	13 COMB4
166 Simple member_166	HSRO 6.625x0.125	STEEL	102.57	102.57	2.74	13 COMB4
Code group : 8 TR_3_D						
227 Simple member_227	HSRO 1.9x0.188	STEEL	250.62	250.62	0.93	13 COMB4
227 Simple member_227	HSRO 2.375x0.125	STEEL	192.16	192.16	0.62	13 COMB4
227 Simple member_227	HSRO 2.375x0.154	STEEL	194.2	194.2	0.52	13 COMB4
Code group : 9 TR_3_C						
32 Simple member_32	HSRO 2.5x0.25	STEEL	231.85	231.85	0.29	16 COMB7
32 Simple member_32	HSRO 2.875x0.125	STEEL	192.02	192.02	0.39	16 COMB7
32 Simple member_32	HSRO 2.875x0.188	STEEL	195.81	195.81	0.27	16 COMB7
Code group : 10 TR_4_M						

167 Simple member_167	HSRO 6x0.375	STEEL	118.25	118.25	1.18	13 COMB4
167 Simple member_167	HSRO 6x0.5	STEEL	120.42	120.42	0.93	13 COMB4
167 Simple member_167	HSRO 6.625x0.125	STEEL	102.57	102.57	2.56	13 COMB4
Code group : 11 TR_4_D						
180 Simple member_180	HSRO 1.66x0.14	STEEL	218.46	218.46	0.81	13 COMB4
180 Simple member_180	HSRO 1.9x0.12	STEEL	186.9	186.9	0.59	13 COMB4
180 Simple member_180	HSRO 1.9x0.145	STEEL	189.52	189.52	0.51	13 COMB4
Code group : 12 TR_4_C						
72 Simple member_72	HSRO 2.5x0.25	STEEL	211.51	211.51	0.22	16 COMB7
72 Simple member_72	HSRO 2.875x0.125	STEEL	175.17	175.17	0.3	16 COMB7
72 Simple member_72	HSRO 2.875x0.188	STEEL	178.63	178.63	0.21	16 COMB7
Code group : 13 TR_5_D						
186 Simple member_186	HSRO 1.66x0.14	STEEL	205.26	205.26	0.63	13 COMB4
186 Simple member_186	HSRO 1.9x0.12	STEEL	175.6	175.6	0.46	13 COMB4
186 Simple member_186	HSRO 1.9x0.145	STEEL	178.07	178.07	0.4	13 COMB4
Code group : 14 TR_5_D						
186 Simple member_186	HSRO 1.66x0.14	STEEL	205.26	205.26	0.63	13 COMB4
186 Simple member_186	HSRO 1.9x0.12	STEEL	175.6	175.6	0.46	13 COMB4
186 Simple member_186	HSRO 1.9x0.145	STEEL	178.07	178.07	0.4	13 COMB4
Code group : 15 TR_5_C						
69 Simple member_69	HSRO 1.9x0.188	STEEL	245.97	245.97	0.41	13 COMB4
69 Simple member_69	HSRO 2.375x0.125	STEEL	188.6	188.6	0.36	13 COMB4
69 Simple member_69	HSRO 2.375x0.154	STEEL	190.59	190.59	0.3	13 COMB4
Code group : 16 TR_6_M						
169 Simple member_169	HSRO 5.5x0.375	STEEL	129.65	129.65	1.25	13 COMB4
169 Simple member_169	HSRO 5.5x0.5	STEEL	132.35	132.35	1	13 COMB4
169 Simple member_169	HSRO 5.563x0.134	STEEL	122.98	122.98	3.05	13 COMB4
Code group : 17 TR_6_D						
192 Simple member_192	HSRO 1.66x0.14	STEEL	192.86	192.86	0.51	13 COMB4
192 Simple member_192	HSRO 1.9x0.12	STEEL	165	165	0.37	13 COMB4
Code group : 18 TR_6_C						
66 Simple member_66	HSRO 1.9x0.188	STEEL	213.89	213.89	0.33	16 COMB7
66 Simple member_66	HSRO 2.375x0.125	STEEL	164	164	0.29	16 COMB7
66 Simple member_66	HSRO 2.375x0.154	STEEL	165.73	165.73	0.24	16 COMB7
Code group : 19 TR_7_M						
272 Simple member_272	HSRO 5.5x0.375	STEEL	129.65	129.65	1.14	13 COMB4
272 Simple member_272	HSRO 5.5x0.5	STEEL	132.35	132.35	0.91	13 COMB4
272 Simple member_272	HSRO 5.563x0.134	STEEL	122.98	122.98	2.78	13 COMB4
Code group : 20 TR_7_D						
249 Simple member_249	HSRO 1.66x0.14	STEEL	181.43	181.43	0.4	13 COMB4
249 Simple member_249	HSRO 1.9x0.12	STEEL	155.22	155.22	0.29	13 COMB4
Code group : 21 TR_7_C						
63 Simple member_63	HSRO 1.66x0.14	STEEL	205.59	205.59	0.44	16 COMB7
63 Simple member_63	HSRO 1.9x0.12	STEEL	175.88	175.88	0.38	16 COMB7

63 Simple member_63	HSRO 1.9x0.145	STEEL	178.35	178.35	0.32	16 COMB7
Code group : 22 TR_8_M						
273 Simple member_273	HSRO 5.5x0.375	STEEL	129.65	129.65	1.03	13 COMB4
273 Simple member_273	HSRO 5.5x0.5	STEEL	132.35	132.35	0.82	13 COMB4
273 Simple member_273	HSRO 5.563x0.134	STEEL	122.98	122.98	2.52	13 COMB4
Code group : 23 TR_8_D						
204 Simple member_204	HSRO 1.66x0.14	STEEL	171.17	171.17	0.31	13 COMB4
204 Simple member_204	HSRO 1.9x0.12	STEEL	146.44	146.44	0.23	13 COMB4
Code group : 24 TR_8_C						
58 Simple member_58	HSRO 1.66x0.14	STEEL	145.12	145.12	0.55	13 COMB4
58 Simple member_58	HSRO 1.9x0.12	STEEL	124.15	124.15	0.5	13 COMB4
Code group : 25 TR_9_D						
44 Simple member_44	HSRO 5x0.375	STEEL	143.09	143.09	1.14	11 COMB2
44 Simple member_44	HSRO 5x0.5	STEEL	146.55	146.55	0.92	11 COMB2
44 Simple member_44	HSRO 5.5x0.258	STEEL	127.16	127.16	1.16	11 COMB2
Code group : 26 TR_9_D						
210 Simple member_210	HSRO 2.375x0.125	STEEL	139.16	139.16	1.12	11 COMB2
210 Simple member_210	HSRO 2.375x0.154	STEEL	140.63	140.63	0.94	11 COMB2
210 Simple member_210	HSRO 2.375x0.188	STEEL	142.48	142.48	0.81	11 COMB2
Code group : 27 TR_9_C						
57 Simple member_57	HSRO 1.66x0.14	STEEL	145.12	145.12	0.72	11 COMB2
57 Simple member_57	HSRO 1.9x0.12	STEEL	124.15	124.15	0.71	11 COMB2
Code group : 28 TR_10_M						
45 Simple member_45	HSRO 5x0.312	STEEL	141.4	141.4	1.08	11 COMB2
45 Simple member_45	HSRO 5x0.375	STEEL	143.09	143.09	0.93	11 COMB2
45 Simple member_45	HSRO 5x0.5	STEEL	146.55	146.55	0.75	11 COMB2
Code group : 29 TR_10_D						
110 Simple member_110	HSRO 1.9x0.188	STEEL	181.49	181.49	1.32	11 COMB2
110 Simple member_110	HSRO 2.375x0.125	STEEL	139.16	139.16	0.89	11 COMB2
110 Simple member_110	HSRO 2.375x0.154	STEEL	140.63	140.63	0.75	11 COMB2
Code group : 30 TR_10_C						
117 Simple member_117	HSRO 1.66x0.14	STEEL	145.12	145.12	0.58	11 COMB2
117 Simple member_117	HSRO 1.9x0.12	STEEL	124.15	124.15	0.58	11 COMB2

Fuente: Resultados del Programa Estructural

En primer lugar, se definieron los materiales principales de la estructura, siendo el acero A36 utilizado para los elementos estructurales principales y los pernos estructurales A325 para las conexiones. Posteriormente, se asignaron las secciones de los perfiles tubulares para las tres principales componentes de la torre: montantes, diagonales y cierres, asegurando una adecuada distribución de las propiedades mecánicas en toda la estructura.

En cuanto a las cargas, se evaluaron las cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas. La carga muerta incluyó el peso de las antenas 3G, 4G y 5G, distribuidas a 60 metros y 50 metros de altura, respectivamente, cada una con un peso de 50 kg. Para la carga viva, destinada al mantenimiento, se consideró un peso de 100 kg por persona, con un total de tres personas asignadas, aplicando esta carga como una fuerza puntual a 60 metros de altura para representar el escenario más desfavorable. Las cargas de viento se analizaron detalladamente siguiendo los factores establecidos en el capítulo 2.6 de la TIA 222-G, considerando la categoría de exposición B, la categoría topográfica I, y los factores de ráfaga y dirección del viento. Las fuerzas de viento resultantes se calcularon por segmentos, con una fuerza total de 6,020.57 kgf distribuida a lo largo de los 10 segmentos de la torre.

El análisis sísmico se realizó mediante el método de análisis modal, como se indica en el capítulo 2.7.9 de la norma, evaluando los modos de vibración más significativos de la estructura. Este método es particularmente apropiado para torres de telecomunicaciones de celosía debido a su comportamiento dinámico y la altura de 60 metros. Asimismo, se aplicaron las combinaciones de carga especificadas en la TIA 222-G (capítulo 2.3.2), integrando las cargas permanentes, transitorias y dinámicas para obtener una evaluación integral de los esfuerzos en la estructura.

En general, los resultados obtenidos demuestran que la torre cumple con los requisitos normativos en términos de estabilidad, resistencia y servicio. La distribución de fuerzas en los diferentes segmentos y componentes estructurales confirma que el diseño es capaz de soportar las solicitaciones generadas por las condiciones de viento y sismo de la región, asegurando un desempeño estructural confiable y seguro para su función como soporte de telecomunicaciones. Este análisis proporciona las bases para proceder con los siguientes pasos en el diseño y construcción de la torre.

Otro aspecto relevante del diseño es la elección de perfiles tubulares cerrados para los elementos principales de la estructura, como montantes, diagonales y cierres. Los perfiles tubulares ofrecen ventajas significativas en términos de resistencia frente a

fuerzas de viento, ya que su geometría reduce la superficie expuesta y minimiza el efecto de presión aerodinámica, algo especialmente importante en torres altas. Adicionalmente, los perfiles cerrados presentan una mayor resistencia a la torsión en comparación con perfiles abiertos, como los angulares o los de sección UV, mejorando la estabilidad estructural frente a cargas dinámicas.

Sin embargo, el uso de perfiles tubulares también presenta desafíos, particularmente en el diseño y construcción de las conexiones. Estas suelen ser más complejas y costosas, debido a que requieren soldaduras especializadas o accesorios adicionales para garantizar una transmisión eficiente de fuerzas entre los elementos estructurales. Pese a esta desventaja, la selección de perfiles tubulares en este proyecto resulta más ventajosa, dado que prioriza la durabilidad y el desempeño aerodinámico de la estructura, características esenciales para una torre de telecomunicaciones expuesta a condiciones extremas de viento.

En conclusión, el análisis de resultados demuestra que el diseño cumple con los requerimientos normativos y presenta un equilibrio entre desempeño estructural y consideraciones prácticas, como la optimización de perfiles y el tratamiento de combinaciones de carga.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El módulo de carga de viento del software utilizado ha sido verificado con cálculos manuales conforme a la norma **TIA 222**, y al coincidir los resultados obtenidos, se evitó la necesidad de asignar las cargas de viento de manera manual. Esto asegura que el diseño de la estructura cumple con los estándares exigidos para la resistencia al viento, garantizando la fiabilidad del programa en el análisis y su aplicación práctica en proyectos reales.

Si bien el análisis realizado cubre las cargas estáticas y dinámicas fundamentales, se recomienda realizar una simulación del túnel de viento para evaluar el comportamiento dinámico de la torre bajo diferentes condiciones de viento. Esta simulación permitirá comprender mejor la interacción de la estructura con los flujos de aire y optimizar el diseño para mitigar posibles efectos adversos de resonancia o vibraciones indeseadas.

Se ha realizado un análisis estructural exhaustivo de la torre de telecomunicaciones, considerando las **cargas muertas, vivas, sísmicas y de viento** conforme a las normativas **TIA 222G** y locales. Este análisis ha permitido comprobar que la estructura cumple con los requerimientos de seguridad y desempeño, especialmente frente a las condiciones específicas de la ciudad de **Guayaquil**, que presenta una **importante actividad sísmica** y condiciones de viento desafiantes. La precisión en la incorporación de las cargas y el uso de herramientas de análisis como **Robot Structural Professional** garantizan la fiabilidad del diseño.

A partir del Modo 3 en adelante, se observa un aumento progresivo de la participación de la masa, con concentraciones cercanas al 67.67% en las últimas frecuencias. La respuesta torsional (UZ) es mínima, lo que indica que la estructura está diseñada con un adecuado control de la torsión.

En torres de telecomunicaciones de gran altura, como la que se analiza en este proyecto, es esencial tener en cuenta no solo las fuerzas estáticas de viento y peso, sino también otras fuerzas dinámicas que podrían afectar la estabilidad de la estructura. Soluciones innovadoras, como los **sintonizadores de masa** o los sistemas de **BRB (Base Isolated Bracing)**, que son comúnmente utilizados en el diseño sísmico, también pueden ser implementadas para controlar los movimientos de la torre y mejorar su comportamiento frente a las cargas dinámicas, tanto sísmicas como de viento.

El diseño estructural sismorresistente de la torre optimiza la capacidad de carga, utilizando **perfiles tubulares cerrados**, los cuales ofrecen una mayor eficiencia frente a fuerzas sísmicas y de viento. Esta configuración permite una reducción significativa del **peso total de la estructura**, pasando de un diseño convencional con perfiles abiertos (~10,000 kg) a **4668.98 kg** en la estructura propuesta. La rigidez de los perfiles cerrados mejora la **respuesta dinámica** de la torre, asegurando su estabilidad ante eventos sísmicos y cargas de viento críticas.

El desplazamiento máximo es **1.063%** de la altura total de la torre, lo cual es **aceptable** para una estructura de este tipo bajo cargas de viento, cumpliendo con los límites permitidos por normativas como la **TIA-222-G**.

Comparando el diseño actual con torres existentes construidas para tecnologías **3G y 4G**, se evidencia una **notable mejora en eficiencia, resistencia y adaptabilidad**. La torre propuesta no solo soporta la nueva tecnología **5G**, que implica mayores cargas por la cantidad y el peso de los equipos, sino que también ofrece **mayor estabilidad** frente a fuerzas dinámicas como el viento y los sismos. Adicionalmente, la reducción de peso implica una disminución en costos de materiales, transporte y montaje, logrando una **solución estructural innovadora y sostenible**.

Recomendaciones

Para una evaluación más precisa de la acción dinámica del viento, se recomienda investigar y aplicar métodos de **análisis espectral**. Este enfoque permitirá simular la interacción entre las cargas de viento y la estructura de forma más realista, teniendo en cuenta las variaciones en la velocidad y dirección del viento, así como sus efectos sobre las vibraciones estructurales. Además, los resultados obtenidos con el análisis espectral permitirían optimizar el diseño de la torre, reduciendo posibles resonancias o vibraciones indeseadas que podrían comprometer la estabilidad de la estructura.

Para las estructuras existentes que puedan estar sujetas a movimientos sísmicos o vientos fuertes, es recomendable evaluar la posibilidad de **reforzar las torres** mediante el uso de sistemas como los **BRB (Base Isolated Bracing)** y **sintonizadores de masa**. Estos sistemas de amortiguación de energía no solo son eficaces para mitigar los efectos sísmicos, sino que también pueden mejorar el rendimiento dinámico de las estructuras ante cargas de viento extremas. Implementar estas soluciones en torres de telecomunicaciones ayudará a reducir el movimiento estructural y mejorar la seguridad y durabilidad de la torre frente a condiciones climáticas adversas.

Para las estructuras existentes que puedan estar sujetas a movimientos sísmicos o vientos fuertes, es recomendable evaluar la posibilidad de **reforzar las torres** mediante el uso de sistemas como los **BRB (Base Isolated Bracing)** y **sintonizadores de masa**. Estos sistemas de amortiguación de energía no solo son eficaces para mitigar los efectos sísmicos, sino que también pueden mejorar el rendimiento dinámico de las estructuras ante cargas de viento extremas. Implementar estas soluciones en torres de telecomunicaciones ayudará a reducir el movimiento estructural y mejorar la seguridad y durabilidad de la torre frente a condiciones climáticas adversas.

BIBLIOGRAFÍA

- (IBC), I. B. (2021). International Building Code.
- 341-22, A. (2022). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- 360-22, A. (2022). Specification for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.
- Arcotel. (2023). Boletín Estadístico del Sector de las Telecomunicaciones. *BOLETIN NO. 2024-01*.
- Autodesk. (2025). *Documentación de Autodesk Robot Structural Analysis Professional*.
Obtenido de <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2025/ESP/>
- Bruneau, M. U.-M. (2011). Ductile Design of Steel Structures. *McGraw-Hill Education*.
- Buenaño Silva, D. P. (2023). Análisis de riesgo de la infraestructura y el espectro radioeléctrico en Ecuador. . Obtenido de Análisis de riesgo de la infraestructura y el espectro radioeléctrico en Ecuador. :
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19251>
- Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Pearson Education.
- Chourabi, H. N.-G. (2012). *Understanding smart cities: An integrative framework*.
Obtenido de 5th Hawaii International Conference on System Sciences:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6149291>
- Cisco. (2020). *Cisco Annual Internet Report (2018-2023)*. Obtenido de
<https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>
- Construcción, N. E. (2015). Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismorresistente.
- Cook, R. D. (2012). Concepts and Applications of Finite Element Analysis. John Wiley & Sons.
- Córdova, F. L. (2020). Guía de diseño estructural de torres de telecomunicaciones.
- Council, W. E. (2019). Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings". Springer.
- Digi. (2024). Los beneficios del 5G en el mundo digital.
- EPN, I. G. (2024). REPORTE DE ACELERACIONES DEL SISMO DE PUEMBO - 01 DE JULIO DE 2024.
- Holmes, J. D. (2001). Wind Loading of Structures. *CRC Press*.

Información., M. d. (2024). Ecuador pone en marcha estaciones fijas de tecnología 5G.

ITU-R. (2019). Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). *Recomendación ITU-R M.2410*.

Krawinkler, H. &. (1998). Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation.

Mazzolani, F. M. (2008). Structural Steel Design: CRC Press.

Mehta, K. C. (2006). Wind Loads and Anchor Design.

P-1051, F. (2016). Designing for Earthquakes.

Panesar, S. S. (2019). *Digital health: Impacts of 5G and beyond. Future Healthcare Journal*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6512252/>

Primicias. (2024). Ecuador rezagado en la adopción del 5G. Obtenido de <https://www.primicias.ec>

San Martín, J. (Octubre de 2020). *Impacto en la productividad por el*. International Telecommunication Union.

Sarkar, P. P. (2021). Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design.

Simiu, E. &. (2020). Wind Engineering for Structures: Analysis and Design.

Simulia. (2023). Abaqus/CAE User's Manual: Dynamic Analysis Modules.

TIA-222-G. (2005). Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas.

UIT. (2022). Measuring digital development: Facts and figures 2022. <https://www.itu.int>.

Vera Cárdenas, D. J. (2023). Estudio técnico para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Guayaquil.

Wang, C. M. (2013). Analysis and Design of Tall Buildings. *World Scientific Publishing Company*.

ANEXOS

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: *Code Group Design*

CODE GROUP: 1 TR_1_M

MEMBER: 2 Simple member_2 **POINT:** 3

COORDINATE: $x = 0.50$ $L = 3.00$ m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21$ MPa $F_u = 399.90$ MPa $E = 199947.97$ MPa



SECTION PARAMETERS: HSR0 6.625x0.5

$d = 16.8$ cm	$A_y = 29.03$ cm ²	$A_z = 29.03$ cm ²	$A_x = 58.06$ cm ²
	$I_y = 1785.63$ cm ⁴	$I_z = 1785.63$ cm ⁴	$J = 3575.43$ cm ⁴
$tw = 1.2$ cm	$S_y = 212.23$ cm ³	$S_z = 212.23$ cm ³	
	$Z_y = 289.69$ cm ³	$Z_z = 289.69$ cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 6.01$ m	$L_z = 6.01$ m	
$L_{cy} = 6.01$ m	$L_{cz} = 6.01$ m	$L_b = 6.01$ m
$L_{cy}/r_y = 108.32$	$L_{cz}/r_z = 108.32$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_r = -0.00$ kN*m

$P_r = 627.00$ kN

$M_{ry} = 0.14$ kN*m

$M_{rz} = -0.00$ kN*m

$V_{ry} = 0.00$ kN

$V_{rz} = 0.04$ kN

DESIGN STRENGTHS

$F_i T^* T_n = 60.88$ kN*m

$F_i C^* P_n = 699.38$ kN

$F_i b^* M_{ny} = 64.71$ kN*m

$F_i b^* M_{nz} = 64.71$ kN*m

$F_i v^* V_{ny} = 389.13$ kN

$F_i v^* V_{nz} = 389.13$ kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90

Fic = 0.90

Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:
$$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.90 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1a)} \quad \text{Verified}$$
$$Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G)} \quad \text{Verified}$$
$$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G)} \quad \text{Verified}$$
$$Lcy/ry = 108.32 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad Lcz/rz = 108.32 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad \text{STABLE}$$
Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:** [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)**ANALYSIS TYPE:** [Code Group Design](#)**CODE GROUP:** 2 TR_1_D**MEMBER:** 6 Simple member_6**POINT:** 1**COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:***Governing Load Case:* 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00**MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 2.5x0.125**

d=6.3 cm

 $A_y = 2.80 \text{ cm}^2$ $A_z = 2.80 \text{ cm}^2$ $A_x = 5.61 \text{ cm}^2$ $I_y = 25.76 \text{ cm}^4$ $I_z = 25.76 \text{ cm}^4$ $J = 51.61 \text{ cm}^4$

$tw=0.3$ cm $S_y=8.11$ cm³
 $Z_y=10.81$ cm³ $S_z=8.11$ cm³
 $Z_z=10.81$ cm³**MEMBER PARAMETERS:** $L_y = 4.24$ m
 $L_{cy} = 4.24$ m
 $L_{cy}/r_y = 197.94$  $L_z = 4.24$ m
 $L_{cz} = 4.24$ m
 $L_{cz}/r_z = 197.94$  $L_b = 4.24$ m
 $C_b = 1.00$ **INTERNAL FORCES:** $P_r = 16.23$ kN**DESIGN STRENGTHS** $F_{ic} * P_n = 22.29$ kN**SAFETY FACTORS** $F_{ic} = 0.90$ **SECTION ELEMENTS:**

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.73 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy}/r_y = 197.94 < (L_c/r)_{max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 197.94 < (L_c/r)_{max} = 200.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** 3 TR_1_D**MEMBER:** 6 Simple member_6 **POINT:** 1**COORDINATE:** $x = 0.00$ $L = 0.00$ m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$

**SECTION PARAMETERS: HSRO 2.5x0.125**

$d = 6.3 \text{ cm}$	$A_y = 2.80 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.80 \text{ cm}^2$	$A_x = 5.61 \text{ cm}^2$
	$I_y = 25.76 \text{ cm}^4$	$I_z = 25.76 \text{ cm}^4$	$J = 51.61 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 8.11 \text{ cm}^3$	$S_z = 8.11 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 10.81 \text{ cm}^3$	$Z_z = 10.81 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 4.24 \text{ m}$
 $L_{cy} = 4.24 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 197.94$



$L_z = 4.24 \text{ m}$
 $L_{cz} = 4.24 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 197.94$



$L_b = 4.24 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 16.23 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 22.29 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.73 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified
 $L_{cy}/r_y = 197.94 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 197.94 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *4 TR_2_M***MEMBER:** *165 Simple member_165***POINT:** *1* **COORDINATE:** *x = 0.00 L = 0.00 m***LOADS:***Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSR0 6.625x0.432**

$d = 16.8 \text{ cm}$	$A_y = 25.35 \text{ cm}^2$	$A_z = 25.35 \text{ cm}^2$	$A_x = 50.71 \text{ cm}^2$
	$I_y = 1590.00 \text{ cm}^4$	$I_z = 1590.00 \text{ cm}^4$	$J = 3180.01 \text{ cm}^4$
$tw = 1.0 \text{ cm}$	$S_y = 188.98 \text{ cm}^3$	$S_z = 188.98 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 255.46 \text{ cm}^3$	$Z_z = 255.46 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 6.01 \text{ m}$	$L_z = 6.01 \text{ m}$	
$L_{cy} = 6.01 \text{ m}$	$L_{cz} = 6.01 \text{ m}$	$L_b = 6.01 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 107.28$	$L_{cz}/r_z = 107.28$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES: $T_r = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_i T^* T_n = 53.71 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Pr = 582.07 kN
Mry = 0.11 kN*m
Mrz = 0.00 kN*m

Vry = 0.00 kN
Vrz = 0.01 kN

Fic*Pn = 618.08 kN
Fib*Mny = 57.07 kN*m
Fib*Mnz = 57.07 kN*m

Fiv*Vny = 339.84 kN
Fiv*Vnz = 339.84 kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90 Fic = 0.90 Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.94 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified
 $Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Lcy/ry = 107.28 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ $Lcz/rz = 107.28 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 5 TR_2_D

MEMBER: 223 Simple member_223

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.97 MPa

**SECTION PARAMETERS: HSR0 2.5x0.125**

d=6.3 cm

Ay=2.80 cm²Az=2.80 cm²Ax=5.61 cm²Iy=25.76 cm⁴Iz=25.76 cm⁴J=51.61 cm⁴

tw=0.3 cm

Sy=8.11 cm³Sz=8.11 cm³Zy=10.81 cm³Zz=10.81 cm³**MEMBER PARAMETERS:**

Ly = 4.07 m



Lz = 4.07 m



Lb = 4.07 m

Lcy = 4.07 m

Lcz = 4.07 m

Lcy/ry = 189.87

Lcz/rz = 189.87

Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

Pr = 14.76 kN

DESIGN STRENGTHS

Fic*Pn = 24.22 kN

SAFETY FACTORS

Fic = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

Pr/(Fic*Pn) = 0.61 < 1.00 LRFD (H1-1a) Verified

Lcy/ry = 189.87 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 189.87 < (Lc/r),max = 200.00 STABLE

Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:**

ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022

ANALYSIS TYPE: Code Group Design**CODE GROUP:** 6 TR_2_C**MEMBER:** 25 Simple member_25**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.50 L = 2.63 m**LOADS:***Governing Load Case:* 16 COMB7 (1+2)*0.90+5*1.00**MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS:** HSRO 3.5x0.125

$d = 8.9 \text{ cm}$	$A_y = 3.97 \text{ cm}^2$	$A_z = 3.97 \text{ cm}^2$	$A_x = 7.94 \text{ cm}^2$
	$I_y = 73.67 \text{ cm}^4$	$I_z = 73.67 \text{ cm}^4$	$J = 146.93 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 16.57 \text{ cm}^3$	$S_z = 16.57 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 21.78 \text{ cm}^3$	$Z_z = 21.78 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 5.25 \text{ m}$
 $L_{cy} = 5.25 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 172.30$



$L_z = 5.25 \text{ m}$
 $L_{cz} = 5.25 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 172.30$



$L_b = 5.25 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = -1.03 \text{ kN}$
 $M_{ry} = 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $V_{ry} = 0.34 \text{ kN}$
 $M_{rz} = 1.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $V_{rz} = 0.05 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ity} \cdot P_{nty} = 177.27 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{ny} = 4.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_{iv} \cdot V_{ny} = 53.18 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{nz} = 4.86 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_{iv} \cdot V_{nz} = 53.18 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$ $F_{ity} = 0.90$ $F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$$Pr/(2*Fity*Pnty) + Mrz/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz) = 0.31 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1b) Verified}$$

$$Vry/(Fiv*Vny) = 0.01 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$

$$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$

$$Lcy/ry = 172.30 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad Lcz/rz = 172.30 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad \text{STABLE}$$
Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *7 TR_3_M***MEMBER:** *166 Simple member_166***POINT:** *2* **COORDINATE:** *x = 0.25 L = 1.50 m***LOADS:***Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 6x0.5**

d=15.2 cm

Ay=26.10 cm²Az=26.10 cm²Ax=52.19 cm²Iy=1298.64 cm⁴Iz=1298.64 cm⁴J=2597.28 cm⁴

tw=1.2 cm

Sy=170.43 cm³Sz=170.43 cm³Zy=234.00 cm³Zz=234.00 cm³**MEMBER PARAMETERS:**



Ly = 6.01 m
Lcy = 6.01 m
Lcy/ry = 120.42



Lz = 6.01 m
Lcz = 6.01 m
Lcz/rz = 120.42



Lb = 6.01 m
Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

Tr = -0.00 kN*m

DESIGN STRENGTHS

FiT*Tn = 49.15 kN*m

Pr = 537.72 kN

Mry = 0.09 kN*m

Mrz = 0.00 kN*m

Vry = 0.00 kN

Vrz = 0.01 kN

Fic*Pn = 543.39 kN

Fib*Mny = 52.27 kN*m

Fib*Mnz = 52.27 kN*m

Fiv*Vny = 349.79 kN

Fiv*Vnz = 349.79 kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90

Fic = 0.90

Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.99 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$Lcy/ry = 120.42 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ $Lcz/rz = 120.42 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 8 TR_3_D

MEMBER: 227 Simple member_227

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$

**SECTION PARAMETERS: HSRO 2.375x0.125**

$d = 6.0 \text{ cm}$	$A_y = 2.65 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.65 \text{ cm}^2$	$A_x = 5.31 \text{ cm}^2$
	$I_y = 21.94 \text{ cm}^4$	$I_z = 21.94 \text{ cm}^4$	$J = 43.70 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 7.27 \text{ cm}^3$	$S_z = 7.27 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 9.71 \text{ cm}^3$	$Z_z = 9.71 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 3.91 \text{ m}$	$L_z = 3.91 \text{ m}$	
$L_{cy} = 3.91 \text{ m}$	$L_{cz} = 3.91 \text{ m}$	$L_b = 3.91 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 192.16$	$L_{cz}/r_z = 192.16$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 13.98 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 22.40 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.62 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$L_{cy}/r_y = 192.16 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 192.16 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *9 TR_3_C***MEMBER:** *32 Simple member_32***POINT:** *3* **COORDINATE:** *x = 0.50 L = 2.38 m***LOADS:***Governing Load Case: 16 COMB7 (1+2)*0.90+5*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSR0 2.875x0.125**

$d = 7.3 \text{ cm}$	$A_y = 3.26 \text{ cm}^2$	$A_z = 3.26 \text{ cm}^2$	$A_x = 6.52 \text{ cm}^2$
	$I_y = 39.87 \text{ cm}^4$	$I_z = 39.87 \text{ cm}^4$	$J = 79.92 \text{ cm}^4$
$tw = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 10.92 \text{ cm}^3$	$S_z = 10.92 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 14.48 \text{ cm}^3$	$Z_z = 14.48 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:
 $L_y = 4.75 \text{ m}$
 $L_{cy} = 4.75 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 192.02$

 $L_z = 4.75 \text{ m}$
 $L_{cz} = 4.75 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 192.02$

 $L_b = 4.75 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$
INTERNAL FORCES:
 $P_r = -0.97 \text{ kN}$
 $M_{ry} = 0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $V_{ry} = -0.33 \text{ kN}$
DESIGN STRENGTHS
 $F_{ity} \cdot P_{nty} = 145.56 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{ny} = 3.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_{iv} \cdot V_{ny} = 43.67 \text{ kN}$

Mrz = 1.26 kN*m Vrz = -0.03 kN Fib*Mnz = 3.23 kN*m Fiv*Vnz = 43.67 kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90

Fity = 0.90

Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:
$$Pr/(2*Fity*Pnty) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz) = 0.39 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1b) Verified}$$
$$Vry/(Fiv*Vny) = 0.01 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$
$$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$
$$Lcy/ry = 192.02 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad Lcz/rz = 192.02 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad \text{STABLE}$$

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 10 TR 4 M

MEMBER: 167 Simple member_167

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.97 MPa

**SECTION PARAMETERS: HSR0 6x0.5**

d=15.2 cm

Ay=26.10 cm²Az=26.10 cm²Ax=52.19 cm²

tw=1.2 cm $I_y=1298.64 \text{ cm}^4$ $I_z=1298.64 \text{ cm}^4$ $J=2597.28 \text{ cm}^4$
 $S_y=170.43 \text{ cm}^3$ $S_z=170.43 \text{ cm}^3$
 $Z_y=234.00 \text{ cm}^3$ $Z_z=234.00 \text{ cm}^3$

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cy} = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 120.42$



$L_z = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cz} = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 120.42$



$L_b = 6.01 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_r = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P_r = 501.61 \text{ kN}$
 $M_{ry} = 0.14 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{rz} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = -0.00 \text{ kN}$
 $V_{rz} = -0.02 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_i T \cdot T_n = 49.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i C \cdot P_n = 543.39 \text{ kN}$
 $F_i b \cdot M_{ny} = 52.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_i v \cdot V_{ny} = 349.79 \text{ kN}$
 $F_i b \cdot M_{nz} = 52.27 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_i v \cdot V_{nz} = 349.79 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$

$F_{ic} = 0.90$

$F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_i C \cdot P_n) + 8/9 \cdot (M_{ry} / (F_i b \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_i b \cdot M_{nz})) = 0.93 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$V_{ry} / (F_i v \cdot V_{ny}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$V_{rz} / (F_i v \cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$L_{cy}/r_y = 120.42 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 120.42 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** 11 TR_4_D**MEMBER:** 180 Simple member_180**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:***Governing Load Case:* 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00**MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 1.9x0.12**

d=4.8 cm	$A_y=2.01 \text{ cm}^2$	$A_z=2.01 \text{ cm}^2$	$A_x=4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y=10.45 \text{ cm}^4$	$I_z=10.45 \text{ cm}^4$	$J=20.85 \text{ cm}^4$
tw=0.3 cm	$S_y=4.33 \text{ cm}^3$	$S_z=4.33 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=5.83 \text{ cm}^3$	$Z_z=5.83 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 3.01 \text{ m}$	$L_z = 3.01 \text{ m}$	
$L_{cy} = 3.01 \text{ m}$	$L_{cz} = 3.01 \text{ m}$	$L_b = 3.01 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 186.90$	$L_{cz}/r_z = 186.90$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES: $P_r = 10.59 \text{ kN}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_{ic} * P_n = 17.95 \text{ kN}$ **SAFETY FACTORS** $F_{ic} = 0.90$ **SECTION ELEMENTS:**

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r/(F_{ic} \cdot P_n) = 0.59 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy}/r_y = 186.90 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 186.90 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *12 TR_4_C***MEMBER:** *72 Simple member_72***POINT:** *1* **COORDINATE:** *x = 0.50 L = 2.17 m***LOADS:***Governing Load Case: 16 COMB7 (1+2)*0.90+5*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSR0 2.875x0.125** $d = 7.3 \text{ cm}$ $A_y = 3.26 \text{ cm}^2$ $A_z = 3.26 \text{ cm}^2$ $A_x = 6.52 \text{ cm}^2$ $I_y = 39.87 \text{ cm}^4$ $I_z = 39.87 \text{ cm}^4$ $J = 79.92 \text{ cm}^4$ $t_w = 0.3 \text{ cm}$ $S_y = 10.92 \text{ cm}^3$ $S_z = 10.92 \text{ cm}^3$ $Z_y = 14.48 \text{ cm}^3$ $Z_z = 14.48 \text{ cm}^3$ **MEMBER PARAMETERS:** $L_y = 4.33 \text{ m}$  $L_z = 4.33 \text{ m}$ 

$L_{cy} = 4.33 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 175.17$

$L_{cz} = 4.33 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 175.17$

$L_b = 4.33 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = -0.73 \text{ kN}$

$M_{ry} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{rz} = 0.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = 0.25 \text{ kN}$

$V_{rz} = 0.03 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ity} \cdot P_{nty} = 145.56 \text{ kN}$

$F_{ib} \cdot M_{ny} = 3.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{ib} \cdot M_{nz} = 3.23 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{iv} \cdot V_{ny} = 43.67 \text{ kN}$

$F_{iv} \cdot V_{nz} = 43.67 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$

$F_{ity} = 0.90$

$F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (2 \cdot F_{ity} \cdot P_{nty}) + M_{ry} / (F_{ib} \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_{ib} \cdot M_{nz}) = 0.30 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verified

$V_{ry} / (F_{iv} \cdot V_{ny}) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$V_{rz} / (F_{iv} \cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$L_{cy}/r_y = 175.17 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 175.17 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: Code Group Design

CODE GROUP: 13 TR_5_D

MEMBER: 186 Simple member_186

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSRO 1.9x0.12

$d = 4.8 \text{ cm}$	$A_y = 2.01 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.01 \text{ cm}^2$	$A_x = 4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y = 10.45 \text{ cm}^4$	$I_z = 10.45 \text{ cm}^4$	$J = 20.85 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 4.33 \text{ cm}^3$	$S_z = 4.33 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 5.83 \text{ cm}^3$	$Z_z = 5.83 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 175.60$



$L_z = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 175.60$



$L_b = 2.83 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 9.45 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 20.34 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.46 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified
 $L_{cy}/r_y = 175.60 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 175.60 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: *Code Group Design*

CODE GROUP: 14 TR_5_D

MEMBER: 186 Simple member_186

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSRO 1.9x0.12

d=4.8 cm	$A_y=2.01 \text{ cm}^2$	$A_z=2.01 \text{ cm}^2$	$A_x=4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y=10.45 \text{ cm}^4$	$I_z=10.45 \text{ cm}^4$	$J=20.85 \text{ cm}^4$
tw=0.3 cm	$S_y=4.33 \text{ cm}^3$	$S_z=4.33 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=5.83 \text{ cm}^3$	$Z_z=5.83 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 175.60$



$L_z = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 175.60$



$L_b = 2.83 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 9.45 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 20.34 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r/(F_{ic} \cdot P_n) = 0.46 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy}/r_y = 175.60 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 175.60 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)**ANALYSIS TYPE:** [Code Group Design](#)**CODE GROUP:** 15 TR_5_C**MEMBER:** 69 Simple member_69**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.50 L = 1.92 m**LOADS:**

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 2.375x0.125**

d=6.0 cm	$A_y=2.65 \text{ cm}^2$	$A_z=2.65 \text{ cm}^2$	$A_x=5.31 \text{ cm}^2$
	$I_y=21.94 \text{ cm}^4$	$I_z=21.94 \text{ cm}^4$	$J=43.70 \text{ cm}^4$
tw=0.3 cm	$S_y=7.27 \text{ cm}^3$	$S_z=7.27 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=9.71 \text{ cm}^3$	$Z_z=9.71 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 3.83 \text{ m}$
 $L_{cy} = 3.83 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 188.60$

$L_z = 3.83 \text{ m}$
 $L_{cz} = 3.83 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 188.60$

$L_b = 3.83 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = -0.69 \text{ kN}$
 $M_{ry} = -0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{rz} = 0.77 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = 0.24 \text{ kN}$
 $V_{rz} = 0.04 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ity} \cdot P_{nty} = 118.61 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{ny} = 2.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $F_{ib} \cdot M_{nz} = 2.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{iv} \cdot V_{ny} = 35.58 \text{ kN}$
 $F_{iv} \cdot V_{nz} = 35.58 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$
 $F_{ity} = 0.90$
 $F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (2 \cdot F_{ity} \cdot P_{nty}) + M_{ry} / (F_{ib} \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_{ib} \cdot M_{nz}) = 0.36 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verified
 $V_{ry} / (F_{iv} \cdot V_{ny}) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $V_{rz} / (F_{iv} \cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $L_{cy}/r_y = 188.60 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 188.60 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 16 TR_6_M

MEMBER: 169 Simple member_169

POINT: 3 **COORDINATE:** $x = 0.33 \text{ L} = 2.00 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 $(1+2) \cdot 1.20 + (3+5) \cdot 1.00$

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$

**SECTION PARAMETERS: HSRO 5.5x0.5**

$d = 14.0 \text{ cm}$	$A_y = 23.74 \text{ cm}^2$	$A_z = 23.74 \text{ cm}^2$	$A_x = 47.48 \text{ cm}^2$
	$I_y = 978.14 \text{ cm}^4$	$I_z = 978.14 \text{ cm}^4$	$J = 1956.29 \text{ cm}^4$
$t_w = 1.2 \text{ cm}$	$S_y = 140.03 \text{ cm}^3$	$S_z = 140.03 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 193.73 \text{ cm}^3$	$Z_z = 193.73 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cy} = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 132.35$



$L_z = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cz} = 6.01 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 132.35$



$L_b = 6.01 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_r = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P_r = 419.40 \text{ kN}$

$M_{ry} = 0.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{rz} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = -0.00 \text{ kN}$

$V_{rz} = 0.03 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_i T \cdot T_n = 40.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i C \cdot P_n = 421.82 \text{ kN}$

$F_i b \cdot M_{ny} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i b \cdot M_{nz} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i v \cdot V_{ny} = 318.22 \text{ kN}$

$F_i v \cdot V_{nz} = 318.22 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$

$F_{ic} = 0.90$

$F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_i C \cdot P_n) + 8/9 \cdot (M_{ry} / (F_i b \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_i b \cdot M_{nz})) = 1.00 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$V_{ry} / (F_i v \cdot V_{ny}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$V_{rz} / (F_i v \cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$L_{cy}/r_y = 132.35 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 132.35 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: Code Group Design

CODE GROUP: 17 TR_6_D

MEMBER: 192 Simple member_192

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSRO 1.66x0.14

d=4.2 cm	$A_y = 2.02 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.02 \text{ cm}^2$	$A_x = 4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y = 7.66 \text{ cm}^4$	$I_z = 7.66 \text{ cm}^4$	$J = 15.32 \text{ cm}^4$
tw=0.3 cm	$S_y = 3.63 \text{ cm}^3$	$S_z = 3.63 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 5.00 \text{ cm}^3$	$Z_z = 5.00 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 2.66 \text{ m}$	$L_z = 2.66 \text{ m}$	
$L_{cy} = 2.66 \text{ m}$	$L_{cz} = 2.66 \text{ m}$	$L_b = 2.66 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 192.86$	$L_{cz}/r_z = 192.86$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 8.53 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 16.89 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS $F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r / (F_{ic} P_n) = 0.51 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy} / r_y = 192.86 < (L_c / r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz} / r_z = 192.86 < (L_c / r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design*

CODE GROUP: 18 TR_6_C**MEMBER:** 66 Simple member_66**POINT:** 1 **COORDINATE:** $x = 0.50$ $L = 1.67$ m

LOADS:*Governing Load Case:* 16 COMB7 (1+2)*0.90+5*1.00

MATERIAL:STEEL $F_y = 248.21$ MPa $F_u = 399.90$ MPa $E = 199947.97$ MPa

**SECTION PARAMETERS: HSRO 2.375x0.125** $d = 6.0$ cm $A_y = 2.65$ cm² $A_z = 2.65$ cm² $A_x = 5.31$ cm² $I_y = 21.94$ cm⁴ $I_z = 21.94$ cm⁴ $J = 43.70$ cm⁴ $t_w = 0.3$ cm $S_y = 7.27$ cm³ $S_z = 7.27$ cm³

$Z_y = 9.71 \text{ cm}^3$ $Z_z = 9.71 \text{ cm}^3$ **MEMBER PARAMETERS:**

$L_y = 3.33 \text{ m}$
 $L_{cy} = 3.33 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 164.00$



$L_z = 3.33 \text{ m}$
 $L_{cz} = 3.33 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 164.00$



$L_b = 3.33 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES: $P_r = -0.68 \text{ kN}$ $M_{ry} = -0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $M_{rz} = 0.61 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $V_{ry} = 0.22 \text{ kN}$ $V_{rz} = 0.03 \text{ kN}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_{ity} \cdot P_{nty} = 118.61 \text{ kN}$ $F_{ib} \cdot M_{ny} = 2.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_{ib} \cdot M_{nz} = 2.17 \text{ kN}\cdot\text{m}$ $F_{iv} \cdot V_{ny} = 35.58 \text{ kN}$ $F_{iv} \cdot V_{nz} = 35.58 \text{ kN}$ **SAFETY FACTORS** $F_{ib} = 0.90$ $F_{ity} = 0.90$ $F_{iv} = 0.90$ **SECTION ELEMENTS:**

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS: $P_r / (2 \cdot F_{ity} \cdot P_{nty}) + M_{ry} / (F_{ib} \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_{ib} \cdot M_{nz}) = 0.29 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verified $V_{ry} / (F_{iv} \cdot V_{ny}) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified $V_{rz} / (F_{iv} \cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified $L_{cy}/r_y = 164.00 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 164.00 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)**ANALYSIS TYPE:** [Code Group Design](#)**CODE GROUP:** 19 TR_7_M

MEMBER: 272 Simple member_272**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:**

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 5.5x0.5**

d=14.0 cm	$A_y=23.74 \text{ cm}^2$	$A_z=23.74 \text{ cm}^2$	$A_x=47.48 \text{ cm}^2$
	$I_y=978.14 \text{ cm}^4$	$I_z=978.14 \text{ cm}^4$	$J=1956.29 \text{ cm}^4$
tw=1.2 cm	$S_y=140.03 \text{ cm}^3$	$S_z=140.03 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=193.73 \text{ cm}^3$	$Z_z=193.73 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 6.01 \text{ m}$	$L_z = 6.01 \text{ m}$	
$L_{cy} = 6.01 \text{ m}$	$L_{cz} = 6.01 \text{ m}$	$L_b = 6.01 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 132.35$	$L_{cz}/r_z = 132.35$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES: $T_r = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_i T^* T_n = 40.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P_r = 382.06 \text{ kN}$	$F_{ic}^* P_n = 421.82 \text{ kN}$	
$M_{ry} = 0.06 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_{ib}^* M_{ny} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_{iv}^* V_{ny} = 318.22 \text{ kN}$
$M_{rz} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_{ib}^* M_{nz} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$F_{iv}^* V_{nz} = 318.22 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$	$F_{ic} = 0.90$	$F_{iv} = 0.90$
-----------------	-----------------	-----------------

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mrz/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.91 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1a) Verified}$$

$$Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$

$$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$

$$Lcy/ry = 132.35 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad Lcz/rz = 132.35 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad \text{STABLE}$$
Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *20 TR_7_D***MEMBER:** *249 Simple member_249***POINT:** *1* **COORDINATE:** *x = 0.00 L = 0.00 m***LOADS:***Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 1.66x0.14**

d=4.2 cm	Ay=2.02 cm ²	Az=2.02 cm ²	Ax=4.03 cm ²
	Iy=7.66 cm ⁴	Iz=7.66 cm ⁴	J=15.32 cm ⁴
tw=0.3 cm	Sy=3.63 cm ³	Sz=3.63 cm ³	
	Zy=5.00 cm ³	Zz=5.00 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 2.50 \text{ m}$ $L_z = 2.50 \text{ m}$ $L_{cy} = 2.50 \text{ m}$ $L_{cz} = 2.50 \text{ m}$ $L_b = 2.50 \text{ m}$ $L_{cy/ry} = 181.43$ $L_{cz/rz} = 181.43$ $C_b = 1.00$ **INTERNAL FORCES:** $P_r = 7.57 \text{ kN}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_{ic} * P_n = 19.08 \text{ kN}$ **SAFETY FACTORS** $F_{ic} = 0.90$ **SECTION ELEMENTS:**

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.40 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy/ry} = 181.43 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz/rz} = 181.43 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** *21 TR_7_C***MEMBER:** *63 Simple member_63***POINT:** *3* **COORDINATE:** *x = 0.50 L = 1.42 m***LOADS:***Governing Load Case: 16 COMB7 (1+2)*0.90+5*1.00***MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$

**SECTION PARAMETERS: HSR0 1.9x0.12**

d=4.8 cm	Ay=2.01 cm ²	Az=2.01 cm ²	Ax=4.03 cm ²
	Iy=10.45 cm ⁴	Iz=10.45 cm ⁴	J=20.85 cm ⁴
tw=0.3 cm	Sy=4.33 cm ³	Sz=4.33 cm ³	
	Zy=5.83 cm ³	Zz=5.83 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:

Ly = 2.83 m
Lcy = 2.83 m
Lcy/ry = 175.88



Lz = 2.83 m
Lcz = 2.83 m
Lcz/rz = 175.88



Lb = 2.83 m
Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

Pr = -0.62 kN
Mry = -0.02 kN*m
Mrz = 0.47 kN*m

Vry = -0.21 kN
Vrz = -0.04 kN

DESIGN STRENGTHS

Fity*Pnty = 89.93 kN
Fib*Mny = 1.30 kN*m
Fib*Mnz = 1.30 kN*m

Fiv*Vny = 26.98 kN
Fiv*Vnz = 26.98 kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90
Fity = 0.90
Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact
Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$Pr/(2 \cdot Fity \cdot Pnty) + Mry/(Fib \cdot Mny) + Mrz/(Fib \cdot Mnz) = 0.38 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verified
 $Vry/(Fiv \cdot Vny) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Vrz/(Fiv \cdot Vnz) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Lcy/ry = 175.88 < (Lc/r)_{max} = 300.00$ $Lcz/rz = 175.88 < (Lc/r)_{max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 22 TR_8_M

MEMBER: 273 Simple member_273

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSR0 5.5x0.5

d=14.0 cm	$A_y=23.74 \text{ cm}^2$	$A_z=23.74 \text{ cm}^2$	$A_x=47.48 \text{ cm}^2$
	$I_y=978.14 \text{ cm}^4$	$I_z=978.14 \text{ cm}^4$	$J=1956.29 \text{ cm}^4$
tw=1.2 cm	$S_y=140.03 \text{ cm}^3$	$S_z=140.03 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=193.73 \text{ cm}^3$	$Z_z=193.73 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 6.01 \text{ m}$	$L_z = 6.01 \text{ m}$	
$L_{cy} = 6.01 \text{ m}$	$L_{cz} = 6.01 \text{ m}$	$L_b = 6.01 \text{ m}$
$L_{cy}/r_y = 132.35$	$L_{cz}/r_z = 132.35$	$C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$T_r = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$P_r = 346.82 \text{ kN}$

$M_{ry} = 0.05 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{rz} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = -0.00 \text{ kN}$

$V_{rz} = 0.00 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_i T^* T_n = 40.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i C^* P_n = 421.82 \text{ kN}$

$F_i b^* M_{ny} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i b^* M_{nz} = 43.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_i v^* V_{ny} = 318.22 \text{ kN}$

$F_i v^* V_{nz} = 318.22 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90

Fic = 0.90

Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:
$$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.82 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1a) Verified}$$
$$Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$
$$Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00 \quad \text{LRFD (G) Verified}$$
$$Lcy/ry = 132.35 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad Lcz/rz = 132.35 < (Lc/r)_{\max} = 200.00 \quad \text{STABLE}$$
Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:** [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)**ANALYSIS TYPE:** [Code Group Design](#)**CODE GROUP:** 23 TR_8_D**MEMBER:** 204 Simple member_204**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:***Governing Load Case:* 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00**MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSRO 1.66x0.14**

d=4.2 cm

 $A_y = 2.02 \text{ cm}^2$ $A_z = 2.02 \text{ cm}^2$ $A_x = 4.03 \text{ cm}^2$ $I_y = 7.66 \text{ cm}^4$ $I_z = 7.66 \text{ cm}^4$ $J = 15.32 \text{ cm}^4$

$t_w = 0.3 \text{ cm}$ $S_y = 3.63 \text{ cm}^3$ $S_z = 3.63 \text{ cm}^3$ $Z_y = 5.00 \text{ cm}^3$ $Z_z = 5.00 \text{ cm}^3$ **MEMBER PARAMETERS:** $L_y = 2.36 \text{ m}$ $L_{cy} = 2.36 \text{ m}$ $L_{cy}/r_y = 171.17$  $L_z = 2.36 \text{ m}$ $L_{cz} = 2.36 \text{ m}$ $L_{cz}/r_z = 171.17$  $L_b = 2.36 \text{ m}$ $C_b = 1.00$ **INTERNAL FORCES:** $P_r = 6.74 \text{ kN}$ **DESIGN STRENGTHS** $F_{ic} * P_n = 21.44 \text{ kN}$ **SAFETY FACTORS** $F_{ic} = 0.90$ **SECTION ELEMENTS:**

Flange = Nonslender

Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS: $P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.31 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified $L_{cy}/r_y = 171.17 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 171.17 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE**Section OK !!!****STEEL DESIGN****CODE:** [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)**ANALYSIS TYPE:** [Code Group Design](#)**CODE GROUP:** 24 TR_8_C**MEMBER:** 58 Simple member_58**POINT:** 1 **COORDINATE:** $x = 0.50 \text{ L} = 1.00 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 13 COMB4 (1+2)*1.20+(3+5)*1.00

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$

**SECTION PARAMETERS: HSR0 1.66x0.14**

$d = 4.2 \text{ cm}$	$A_y = 2.02 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.02 \text{ cm}^2$	$A_x = 4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y = 7.66 \text{ cm}^4$	$I_z = 7.66 \text{ cm}^4$	$J = 15.32 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 3.63 \text{ cm}^3$	$S_z = 3.63 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 5.00 \text{ cm}^3$	$Z_z = 5.00 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cy} = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 145.12$



$L_z = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cz} = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 145.12$



$L_b = 2.00 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = -18.97 \text{ kN}$
 $M_{ry} = -0.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $M_{rz} = 0.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = 0.20 \text{ kN}$
 $V_{rz} = 0.17 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ity} \cdot P_{nty} = 90.08 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{ny} = 1.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$
 $F_{ib} \cdot M_{nz} = 1.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{iv} \cdot V_{ny} = 27.02 \text{ kN}$
 $F_{iv} \cdot V_{nz} = 27.02 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$ $F_{ity} = 0.90$ $F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ity} \cdot P_{nty}) + 8/9 * (M_{ry} / (F_{ib} \cdot M_{ny}) + M_{rz} / (F_{ib} \cdot M_{nz})) = 0.55 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$V_{ry} / (F_{iv} \cdot V_{ny}) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$V_{rz} / (F_{iv} \cdot V_{nz}) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$L_{cy}/r_y = 145.12 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ $L_{cz}/r_z = 145.12 < (L_c/r)_{\max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: Code Group Design

CODE GROUP: 25 TR_9_D

MEMBER: 44 Simple member_44

POINT: 1 **COORDINATE:** $x = 0.33 L = 2.00 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSRO 5x0.5

$d = 12.7 \text{ cm}$	$A_y = 21.35 \text{ cm}^2$	$A_z = 21.35 \text{ cm}^2$	$A_x = 42.71 \text{ cm}^2$
	$I_y = 715.92 \text{ cm}^4$	$I_z = 715.92 \text{ cm}^4$	$J = 1431.84 \text{ cm}^4$
$tw = 1.2 \text{ cm}$	$S_y = 112.74 \text{ cm}^3$	$S_z = 112.74 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 157.26 \text{ cm}^3$	$Z_z = 157.26 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cy} = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 146.55$



$L_z = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cz} = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 146.55$



$L_b = 6.00 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

DESIGN STRENGTHS

Pr = 283.74 kN
Mry = -0.04 kN*m
Mrz = -0.02 kN*m

Vry = -0.01 kN
Vrz = 0.02 kN

Fic*Pn = 309.76 kN
Fib*Mny = 35.13 kN*m
Fib*Mnz = 35.13 kN*m

Fiv*Vny = 286.23 kN
Fiv*Vnz = 286.23 kN

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90 Fic = 0.90 Fiv = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$Pr/(Fic*Pn) + 8/9*(Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz)) = 0.92 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified
 $Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified
 $Lcy/ry = 146.55 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ $Lcz/rz = 146.55 < (Lc/r)_{max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: [ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022](#)

ANALYSIS TYPE: [Code Group Design](#)

CODE GROUP: 26 TR_9_D

MEMBER: 210 Simple member_210

POINT: 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21$ MPa $F_u = 399.90$ MPa $E = 199947.97$ MPa

**SECTION PARAMETERS: HSR0 2.375x0.154**

d=6.0 cm	Ay=3.23 cm ²	Az=3.23 cm ²	Ax=6.45 cm ²
	Iy=26.10 cm ⁴	Iz=26.10 cm ⁴	J=52.03 cm ⁴
tw=0.4 cm	Sy=8.65 cm ³	Sz=8.65 cm ³	
	Zy=11.69 cm ³	Zz=11.69 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:

Ly = 2.83 m	Lz = 2.83 m	Lb = 2.83 m
Lcy = 2.83 m	Lcz = 2.83 m	Cb = 1.00
Lcy/ry = 140.63	Lcz/rz = 140.63	

INTERNAL FORCES:

Pr = 47.93 kN

DESIGN STRENGTHS

Fic*Pn = 50.81 kN

SAFETY FACTORS

Fic = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

Pr/(Fic*Pn) = 0.94 < 1.00 LRFD (H1-1a) Verified

Lcy/ry = 140.63 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 140.63 < (Lc/r),max = 200.00 STABLE

Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:**

ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022

ANALYSIS TYPE: Code Group Design**CODE GROUP:** 27 TR_9_C**MEMBER:** 57 Simple member_57**POINT:** 2 **COORDINATE:** x = 0.50 L = 1.00 m**LOADS:**

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60

MATERIAL:STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS:** HSRO 1.66x0.14

d=4.2 cm	$A_y=2.02 \text{ cm}^2$	$A_z=2.02 \text{ cm}^2$	$A_x=4.03 \text{ cm}^2$
	$I_y=7.66 \text{ cm}^4$	$I_z=7.66 \text{ cm}^4$	$J=15.32 \text{ cm}^4$
tw=0.3 cm	$S_y=3.63 \text{ cm}^3$	$S_z=3.63 \text{ cm}^3$	
	$Z_y=5.00 \text{ cm}^3$	$Z_z=5.00 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:

$L_y = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cy} = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 145.12$



$L_z = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cz} = 2.00 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 145.12$



$L_b = 2.00 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = -63.06 \text{ kN}$
 $M_{ry} = 0.02 \text{ kN}\cdot\text{m}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ity} \cdot P_{nty} = 90.08 \text{ kN}$
 $F_{ib} \cdot M_{ny} = 1.12 \text{ kN}\cdot\text{m}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$ $F_{ity} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$$Pr/(Fity \cdot Pnty) + 8/9 \cdot Mry/(Fib \cdot Mny) = 0.72 < 1.00 \quad \text{LRFD (H1-1a) Verified}$$

$$Lcy/ry = 145.12 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad Lcz/rz = 145.12 < (Lc/r)_{\max} = 300.00 \quad \text{STABLE}$$
Section OK !!!**STEEL DESIGN****CODE:** *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022***ANALYSIS TYPE:** *Code Group Design***CODE GROUP:** 28 TR_10_M**MEMBER:** 45 Simple member_45**POINT:** 1 **COORDINATE:** x = 0.00 L = 0.00 m**LOADS:***Governing Load Case:* 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60**MATERIAL:**STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$ **SECTION PARAMETERS: HSR0 5x0.375**

d=12.7 cm

Ay=16.45 cm²Az=16.45 cm²Ax=32.90 cm²Iy=578.56 cm⁴Iz=578.56 cm⁴J=1152.96 cm⁴

tw=0.9 cm

Sy=91.11 cm³Sz=91.11 cm³Zy=123.95 cm³Zz=123.95 cm³**MEMBER PARAMETERS:**

Ly = 6.00 m



Lz = 6.00 m

Cb
1.0

$L_{cy} = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 143.09$

$L_{cz} = 6.00 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 143.09$

$L_b = 6.00 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 233.59 \text{ kN}$

$M_{ry} = -0.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$M_{rz} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$V_{ry} = -0.01 \text{ kN}$

$V_{rz} = 0.01 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic}\cdot P_n = 250.33 \text{ kN}$

$F_{ib}\cdot M_{ny} = 27.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{ib}\cdot M_{nz} = 27.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$F_{iv}\cdot V_{ny} = 220.51 \text{ kN}$

$F_{iv}\cdot V_{nz} = 220.51 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ib} = 0.90$

$F_{ic} = 0.90$

$F_{iv} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact

Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r/(F_{ic}\cdot P_n) + 8/9\cdot(M_{ry}/(F_{ib}\cdot M_{ny}) + M_{rz}/(F_{ib}\cdot M_{nz})) = 0.93 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$V_{ry}/(F_{iv}\cdot V_{ny}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$V_{rz}/(F_{iv}\cdot V_{nz}) = 0.00 < 1.00$ LRFD (G) Verified

$L_{cy}/r_y = 143.09 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 143.09 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: Code Group Design

CODE GROUP: 29 TR_10_D

MEMBER: 110 Simple member_110

POINT: 3 **COORDINATE:** $x = 1.00 \text{ L} = 2.83 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60

MATERIAL:

STEEL $F_y = 248.21 \text{ MPa}$ $F_u = 399.90 \text{ MPa}$ $E = 199947.97 \text{ MPa}$



SECTION PARAMETERS: HSRO 2.375x0.125

$d = 6.0 \text{ cm}$	$A_y = 2.65 \text{ cm}^2$	$A_z = 2.65 \text{ cm}^2$	$A_x = 5.31 \text{ cm}^2$
	$I_y = 21.94 \text{ cm}^4$	$I_z = 21.94 \text{ cm}^4$	$J = 43.70 \text{ cm}^4$
$t_w = 0.3 \text{ cm}$	$S_y = 7.27 \text{ cm}^3$	$S_z = 7.27 \text{ cm}^3$	
	$Z_y = 9.71 \text{ cm}^3$	$Z_z = 9.71 \text{ cm}^3$	

MEMBER PARAMETERS:



$L_y = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cy}/r_y = 139.16$



$L_z = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz} = 2.83 \text{ m}$
 $L_{cz}/r_z = 139.16$



$L_b = 2.83 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

INTERNAL FORCES:

$P_r = 38.05 \text{ kN}$

DESIGN STRENGTHS

$F_{ic} * P_n = 42.71 \text{ kN}$

SAFETY FACTORS

$F_{ic} = 0.90$

SECTION ELEMENTS:

Flange = Nonslender Web = Nonslender

VERIFICATION FORMULAS:

$P_r / (F_{ic} * P_n) = 0.89 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified
 $L_{cy}/r_y = 139.16 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ $L_{cz}/r_z = 139.16 < (L_c/r)_{\max} = 200.00$ STABLE

Section OK !!!

STEEL DESIGN

CODE: *ANSI/AISC 360-22 An American National Standard, August 1, 2022*

ANALYSIS TYPE: *Code Group Design*

CODE GROUP: 30 TR_10_C

MEMBER: 117 Simple member_117

POINT: 2 **COORDINATE:** x = 0.50 L = 1.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 11 COMB2 (1+2)*1.20+3*1.60

MATERIAL:

STEEL Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.97 MPa



SECTION PARAMETERS: HSRO 1.66x0.14

d=4.2 cm	Ay=2.02 cm ²	Az=2.02 cm ²	Ax=4.03 cm ²
	Iy=7.66 cm ⁴	Iz=7.66 cm ⁴	J=15.32 cm ⁴
tw=0.3 cm	Sy=3.63 cm ³	Sz=3.63 cm ³	
	Zy=5.00 cm ³	Zz=5.00 cm ³	

MEMBER PARAMETERS:



Ly = 2.00 m
Lcy = 2.00 m
Lcy/ry = 145.12



Lz = 2.00 m
Lcz = 2.00 m
Lcz/rz = 145.12



Lb = 2.00 m
Cb = 1.00

INTERNAL FORCES:

Pr = -51.04 kN
Mry = 0.02 kN*m

DESIGN STRENGTHS

Fity*Pnty = 90.08 kN
Fib*Mny = 1.12 kN*m

SAFETY FACTORS

Fib = 0.90 Fity = 0.90

SECTION ELEMENTS:

Flange = Compact Web = Compact

VERIFICATION FORMULAS:

$Pr/(Fity*Pnty) + 8/9*Mry/(Fib*Mny) = 0.58 < 1.00$ LRFD (H1-1a) Verified

$Lcy/ry = 145.12 < (Lc/r)_{max} = 300.00$ $Lcz/rz = 145.12 < (Lc/r)_{max} = 300.00$ STABLE

Section OK !!!