

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Prácticas Supervisadas – Ingeniería Civil

“Diagnóstico estructural de torre metálica para telecomunicaciones”

Empresa: Teknik Ingeniería y Diseño

Autor: JAUREGUY, Gonzalo

Tutor interno: ING. LAGORIO, Jorge

Tutor externo: ING. GURAIIB, Joaquín

Año 2022

RESUMEN

En el presente informe se comentan los pasos seguidos para la verificación de una estructura metálica según los reglamentos CIRSOC (basados en la AISC). En particular, se realizó el diagnóstico de una “torre atirantada” que soporta antenas de telecomunicación y de acuerdo al resultado del mismo, la propuesta de refuerzos en los elementos que fallan.

Para el modelado de la estructura se utilizó el software de análisis estructural RFEM 5 (licencia para tesis). Por otro lado, para los cálculos se utilizaron planillas de cálculo (Excel) confeccionadas para tales fines.

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN: TORRES PARA TELECOMUNICACIONES	10
0.1. OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES	10
0.2. ALCANCE DEL INFORME TÉCNICO	10
0.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME	10
0.4. INTRODUCCIÓN	11
0.4.1. TORRE AUTOSOPORTADA.....	12
0.4.2. TORRE ATIRANTADA	15
0.4.3. TORRE MONOPOLO.....	17
0.4.4. TIPOS DE ACCESORIOS	18
1. DISEÑO DE TORRES ATIRANTADAS PARA TELECOMUNICACIONES. ..	21
1.1. INTRODUCCIÓN	21
1.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	21
1.3. REGLAMENTO ARGENTINO DE TORRES PARA TELECOMUNICACIONES	22
1.4. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL PARA UNA TORRE ATIRANTADA	22
1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	23
1.6. NORMATIVAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO	23
1.7. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO	23
2. ESTRUCTURACIÓN	24
2.1. GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA	24
2.1.1. GENERALIDADES.....	24
2.1.2. UBICACIÓN DE ANCLAJES	24
2.1.3. CONFIGURACIÓN DE TRAMOS.....	24
2.1.4. NIVELES DE RIENDAS	24
2.1.5. ANTENAS Y ACCESORIOS CONSIDERADOS	25
2.1.6. TIPOS DE SECCIONES	25
2.2. PLANOS Y ESQUEMAS	25
3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	29
3.1. SOFTWARE DE ANÁLISIS	29
3.2. TIPO DE ANÁLISIS	29
3.2.1. INTRODUCCIÓN.....	29
3.2.2. ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN Y GRANDES DEFORMACIONES	30
4. ANÁLISIS DE CARGAS	32
4.1. GENERALIDADES	32
4.2. PESO PROPIO	33
4.3. CARGAS PERMANENTES	33
4.4. SOBRECARGAS	33

4.5.	SISMO	34
4.6.	NIEVE Y HIELO	34
4.7.	VIENTO	34
4.7.1.	GENERALIDADES SOBRE ACCIÓN DEL VIENTO.....	34
4.7.2.	PRESIÓN DINÁMICA DE VIENTO.....	35
4.7.3.	CARGA DE VIENTO DE DISEÑO.....	41
4.7.4.	VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA.....	43
4.7.5.	VIENTO SOBRE ACCESORIOS.....	45
4.7.5.1.	INTRODUCCIÓN.....	45
4.7.5.2.	VIENTO SOBRE ANTENAS PANEL Y RRU.....	45
4.7.5.3.	VIENTO SOBRE ANTENAS MICROONDAS.....	48
4.7.5.4.	VIENTO SOBRE GUÍAS DE ONDA Y ESCALERA DE SERVICIO.....	54
4.7.5.5.	VIENTO SOBRE ESTRELLAS.....	55
4.7.6.	VIENTO SOBRE RIENDAS.....	56
4.8.	COMBINACIONES DE CARGA	62
4.8.1.	ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.....	62
4.8.2.	ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.....	62
5.	MODELO	62
5.1.	GENERALIDADES	62
5.2.	SECCIONES	63
5.3.	APOYOS	66
5.4.	PRETENSADO EN CABLES	67
5.5.	CARGAS	68
5.5.1.	GENERALIDADES.....	68
5.5.2.	CASOS DE CARGA.....	68
5.5.3.	DISPOSICIÓN DE LAS CARGAS EN EL MODELO.....	69
5.5.3.1.	PESO PROPIO.....	69
5.5.3.2.	CARGAS PERMANENTES.....	69
5.5.3.3.	CARGAS DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURA, GUÍAS DE ONDA Y ESCALERA DE SERVICIO.....	70
5.5.3.4.	CARGAS DE VIENTO EN ANTENAS PANEL Y RRU.....	72
5.5.3.5.	CARGAS DE VIENTO EN ANTENAS MICROONDAS.....	73
5.5.3.6.	CARGAS DE VIENTO EN RIENDAS.....	74
6.	REACCIONES EN APOYOS	76
7.	VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS (ELU)	78
7.1.	PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN	78
7.2.	RESUMEN DE RESULTADOS	78
7.3.	VERIFICACIONES EN CORDONES	79
7.4.	VERIFICACIONES EN DIAGONALES	81
7.5.	VERIFICACIONES EN RIENDAS	83
7.6.	VERIFICACIONES EN CINTURONES	84
7.7.	VERIFICACIONES EN ESTRELLAS	85
7.8.	VERIFICACIONES EN UNIONES	86
7.8.1.	EMPALME CORDÓN-CORDÓN.....	88
7.8.2.	UNIÓN DIAGONAL-CORDÓN.....	93

7.8.3.	UNIÓN CINTURÓN-CORDÓN	97
8.	VERIFICACIÓN EN SERVICIO (ELS).....	98
9.	PROPUESTA DE REFUERZOS	100
9.1.	INTRODUCCIÓN.....	100
9.2.	CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE REFUERZO	100
9.3.	RESUMEN DE REFUERZOS PROPUESTOS.....	101
9.4.	VERIFICACIONES LUEGO DE REFUERZOS	101
9.4.1.	RESUMEN DE RESULTADOS	101
9.4.2.	CORDONES	102
9.4.3.	REFUERZOS DE MONTANTES.....	103
9.4.4.	DIAGONALES.....	104
9.4.5.	RIENDAS.....	106
9.4.6.	DIAGONAL-CORDÓN.....	107
10.	COMENTARIOS FINALES.....	109
11.	BIBLIOGRAFÍA	109
12.	ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO	111
13.	ANEXO 2 – MODELO Y CÁLCULOS.....	128
14.	ANEXO 3 – VERIFICACIONES DE ELEMENTOS	136
15.	ANEXO 4 – VERIFICACIONES DE UNIONES.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 0.1. - Tipos de torres para telecomunicaciones	12
Figura 0.2. - Torre autoportada de sección triangular y elementos tipo tubo	13
Figura 0.3. - Torre autoportada de sección cuadrada y elementos tipo ángulo	14
Figura 0.4. - Detalle de la base de torre autoportada	14
Figura 0.5. - Torre atirantada de sección triangular y elementos tipo perfil ángulo	15
Figura 0.6. - Torre atirantada de sección triangular y elementos tipo tubo y perfil ángulo	16
Figura 0.7. - Anclajes de riendas de torre atirantada	16
Figura 0.8. - Base central de torre atirantada	17
Figura 0.9. - Torre monopolo de acero galvanizado	17
Figura 0.10. - Torre monopolo sección superior	18
Figura 0.11. – Escalera de servicio y guías de onda	19
Figura 0.12. – Antenas para microondas	19
Figura 0.13. – Antenas para radio frecuencia	20
Figura 0.14. – Unidades de radio remotas (RRU)	20
Figura 2.1. - Tipo de conectividad estrellas-riendas	26
Figura 2.2. - Modelos geométricos de estrellas	26
Figura 2.3. - Modelos de rótula y pata	26
Figura 2.4. - Posición de anclajes respecto de la base	27
Figura 2.5. - Configuración de tramos, tipos de secciones, niveles de riendas y antenas.	28
Figura 3.1. – Deformación lateral de la torre y cambio en las componentes de la reacción del cable	30
Figura 3.2. – Modelo de viga metálica empotrada	31
Figura 3.3. – Parámetros de cálculo definidos en el proyecto	32
Figura 4.0. – Diagrama de flujo del cálculo de las fuerzas de viento	35
Figura 4.1. – Velocidad básica del viento (NP 196)	36
Figura 4.2. – Mapa de vientos Dlubal	36
Figura 4.3. – Categoría topográfica	40
Figura 4.4. – Esquema de las direcciones del viento consideradas	42
Figura 4.5. – Tipos de antenas microondas	48
Figura 4.6. – Esquema para medición de ángulos	50
Figura 4.7. – Esquema de la acción del viento sobre las riendas (1)	57
Figura 4.8. – Esquema de la acción del viento sobre las riendas (2)	57
Figura 4.9. – Combinaciones de carga para ELU	62
Figura 4.10. – Combinaciones de carga para ELS	62
Figura 5.0. – Modelo de la estructura	63
Figura 5.1. – Ejemplo de sección de chapa 60° para cordones	64
Figura 5.2. – Ejemplo de sección de perfil L para diagonales	64
Figura 5.3. – Sección de perfil L para cinturones y estrellas	65
Figura 5.4. – Sección de tubo para soporte de antenas	65
Figura 5.5. – Ejemplo de sección de cable para riendas	66
Figura 5.6. – Materialización de apoyos	66
Figura 5.7. – Condiciones de apoyo definidas en el software	67

Figura 5.8. – Parámetros definidos para los cables.	67
Figura 5.9. – Casos de carga definidos.	68
Figura 5.10. – Cargas permanentes.	69
Figura 5.11. – Fuerzas de viento sobre estructura (0° respecto a las caras).	70
Figura 5.12. – Fuerzas de viento sobre estructura (60° respecto a las caras).	71
Figura 5.13. – Fuerzas de viento sobre estructura (90° respecto a las caras).	72
Figura 5.14. – Fuerzas de viento sobre antenas panel y RRU.	73
Figura 5.15. – Fuerzas de viento sobre antenas microondas.	74
Figura 5.16. – Fuerzas de viento sobre riendas. Tipo de distribución y parámetros de carga.	75
Figura 5.17. – Fuerzas de viento sobre riendas.	75
Figura 8.0. – Deformación máxima.	99
Figura 9.1. – Detalle de refuerzo de montantes.	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.0. – Características de las antenas.	33
Tabla 4.1. – Factor de probabilidad de dirección del viento (Kd).....	37
Tabla 4.2. – Clase de estructura.....	37
Tabla 4.3. – Factor de importancia.....	38
Tabla 4.4. – Factor de exposición.....	39
Tabla 4.5. – Datos generales (1).....	40
Tabla 4.6-. – Datos generales (2).....	40
Tabla 4.7. – Presiones dinámicas.	41
Tabla 4.8. – Direcciones del viento consideradas.	42
Tabla 4.9. – Fuerzas en la torre 0° a las caras.	44
Tabla 4.10. – Fuerzas en la torre 60° a las caras.	44
Tabla 4.11. – Fuerzas en la torre 90° a las caras.	45
Tabla 4.12. – Coeficientes de fuerza para accesorios.....	46
Tabla 4.13. – Características de antenas tipo panel.....	47
Tabla 4.14. - Características de antenas tipo RRU.....	47
Tabla 4.15. – Fuerzas sobre antenas panel y RRU.....	47
Tabla 4.16. – Características de antenas tipo microondas.....	49
Tabla 4.17. – Coeficientes de fuerzas para antenas tipo microondas con cubierta cilíndrica.....	51
Tabla 4.18. – Fuerzas en antenas microondas (0° respecto a las caras) (1).	52
Tabla 4.19. – Fuerzas en antenas microondas (0° respecto a las caras) (2).	52
Tabla 4.20. – Fuerzas en antenas microondas (60° respecto a las caras) (1).	52
Tabla 4.21. – Fuerzas en antenas microondas (60° respecto a las caras) (2).	53
Tabla 4.22. – Fuerzas en antenas microondas (90° respecto a las caras) (1).	53
Tabla 4.23. – Fuerzas en antenas microondas (90° respecto a las caras) (2).	53
Tabla 4.24. – Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda (1).	54
Tabla 4.25. – Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda (2).	55
Tabla 4.26. – Características de las estrellas antirotoras.....	56
Tabla 4.27. – Fuerzas de viento sobre las estrellas (1).....	56
Tabla 4.28. – Fuerzas de viento sobre las estrellas (2).....	56
Tabla 4.29. – Datos generales de las riendas (1).	58
Tabla 4.29. – Datos generales de las riendas (2).	58
Tabla 4.30. – Datos generales de las riendas (3).	59
Tabla 4.31. – Fuerzas de viento sobre riendas (0° respecto a las caras).....	59
Tabla 4.32. – Fuerzas de viento sobre riendas (60° respecto a las caras).....	60
Tabla 4.33. – Fuerzas de viento sobre riendas (90° respecto a las caras).....	61
Tabla 6.0. – Reacciones de apoyos para ELU.....	76
Tabla 6.1. – Reacciones de apoyos para ELS.....	77
Tabla 7.0. – Resumen y conclusiones.....	78
Tabla 7.1. – Verificaciones en cordones (1).....	79
Tabla 7.2. – Verificaciones en cordones (2).....	80
Tabla 7.3. – Verificaciones en cordones (3).....	80
Tabla 7.4. – Verificaciones en diagonales (1).	81
Tabla 7.5. – Verificaciones en diagonales (2).	82

Tabla 7.6. – Verificaciones en diagonales (3).	82
Tabla 7.7. – Verificaciones en riendas (1).	83
Tabla 7.8. – Verificaciones en riendas (2).	83
Tabla 7.9. – Verificaciones en cinturones (1).	84
Tabla 7.10. – Verificaciones en cinturones (2).	84
Tabla 7.11. – Verificaciones en estrellas (1).	85
Tabla 7.12. – Verificaciones en estrellas (2).	85
Tabla 7.13. – Verificaciones en empalme de cordones (1).	89
Tabla 7.14. – Verificaciones en empalme de cordones (2).	89
Tabla 7.15. – Verificaciones en empalme de cordones (3).	90
Tabla 7.16. – Verificaciones en empalme de cordones (4).	90
Tabla 7.17. – Verificaciones en empalme de cordones (5).	91
Tabla 7.18. – Verificaciones en empalme de cordones (6).	91
Tabla 7.19. – Verificaciones en empalme de cordones (7).	92
Tabla 7.20. – Verificaciones en empalme de cordones (8).	92
Tabla 7.21. – Verificaciones en empalme de cordones (9).	93
Tabla 7.22. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (1).	94
Tabla 7.23. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (2).	94
Tabla 7.24. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (3).	95
Tabla 7.25. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (4).	95
Tabla 7.26. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (5).	96
Tabla 7.27. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (6).	96
Tabla 7.28. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (1).	97
Tabla 7.29. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (2).	97
Tabla 7.30. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (3).	97
Tabla 7.31. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (4).	97
Tabla 7.32. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (5).	98
Tabla 7.33. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (6).	98
Tabla 9.0. – Resumen y conclusiones.	101
Tabla 9.1. – Verificaciones en cordones (1).	102
Tabla 9.2. – Verificaciones en cordones (2).	102
Tabla 9.3. – Verificaciones en cordones (3).	103
Tabla 9.4. – Verificaciones en refuerzos de montantes (1).	103
Tabla 9.5. – Verificaciones en refuerzos de montantes (2).	104
Tabla 9.6. – Verificaciones en diagonales (1).	104
Tabla 9.7. – Verificaciones en diagonales (2).	105
Tabla 9.8. – Verificaciones en diagonales (3).	105
Tabla 9.9. – Verificaciones en riendas (1).	106
Tabla 9.10. – Verificaciones en riendas (2).	106
Tabla 9.11. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (1).	107
Tabla 9.12. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (2).	107
Tabla 9.13. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (3).	108
Tabla 9.14. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (4).	108

0. INTRODUCCIÓN: TORRES PARA TELECOMUNICACIONES

0.1. OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES

Los objetivos de estas prácticas supervisadas son, en general, reforzar conocimientos básicos sobre estructuras metálicas adquiridos durante el cursado de la carrera, adquirir aptitud y criterio para la toma de decisiones durante el proceso de diseño/verificación de proyectos, generar un roce entre lo “facultativo” y la “actividad profesional”, utilizar software de modelado y diseño estructural, entre otros.

Por otro lado, debido a la índole del proyecto, involucrarse con la reglamentación referida a “estructuras de acero para antenas”, para considerar las particularidades de este tipo de estructuras.

0.2. ALCANCE DEL INFORME TÉCNICO

Este informe contiene información relativa a reglamentos utilizados, hipótesis adoptadas, cálculos ejecutados y verificaciones realizadas sobre una torre metálica atirantada para generar el diagnóstico de la misma. Se pretende poner mayor énfasis en lo referido a la normativa particular para torres y no así en cada uno de los estados límites que se asocian a las secciones y uniones en sí, que se presentan en todo tipo de estructuras metálicas. Esto último se justifica teniendo en cuenta que las verificaciones de los estados límites se estudian en profundidad durante el cursado de “Estructuras Metálicas y de Maderas”.

Cabe aclarar que el diagnóstico se realiza en base a un “informe de relevamiento” de la torre existente - provista por la empresa encargada del relevamiento -, con lo cual algunas verificaciones no son efectuadas por no disponer de información detallada sobre todas las piezas de la estructura.

Por otro lado, en esta instancia, no se realizan verificaciones sobre las fundaciones y elementos de anclajes.

0.3. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El presente informe está dividido principalmente en dos partes. En la primera parte, de carácter teórico, se busca introducir al lector en el uso de estructuras metálicas como torres de telecomunicaciones, ofreciendo un breve relato sobre su utilización, importancia, normativas y los diferentes tipos de torres comúnmente utilizadas.

En una segunda parte, se realizan los cálculos correspondientes sobre una torre metálica (existente) del tipo “**atirantada**” con el fin de verificar estructuralmente los elementos componentes y/o detectar los “puntos débiles” que ameriten un refuerzo. Dentro de este

apartado se encuentran, de manera sucesiva, la descripción del proyecto y la estructura, la utilización de la normativa para el análisis de cargas, la verificación de estados límites y el cálculo de refuerzos.

0.4. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia los seres humanos se han comunicado de diferentes formas. Hoy en día, el fenómeno de la “globalización” y el avance de la tecnología permiten la comunicación mediante, por ejemplo, internet y telefonía móvil. Esta modernización obligó a las personas a crear estructuras de grandes dimensiones, principalmente en altura, para el correcto funcionamiento de las fuentes emisoras y receptoras de señales. Aquí es donde aparece, necesariamente, la Ingeniería Civil, tratando de buscar los mejores “arreglos” estructurales para soportar grandes sollicitaciones producidas por vientos, sismos, etc.

Debido a la gran importancia de estas estructuras, en varios países del mundo se han desarrollado normativas específicas. En Argentina, el Reglamento CIRSOC 306 (basado en Norma Americana y el Eurocódigo principalmente) brinda la información relativa al procedimiento de cálculo para el diseño de torres para telecomunicaciones.

Existen distintas tipologías de torres para telecomunicaciones. Las que más predominan en el mundo son:

- Torre “Autosoportada”
- Torre “Atirantada”
- Torre “Monopolo”

Así mismo, pueden ser de diferentes alturas y configuraciones de tramos según se lo requiera. Por otro lado, las uniones se pueden materializar mediante bulones, remaches (poco uso en la actualidad) o soldadura. Las tipologías mencionadas se muestran en la siguiente figura:

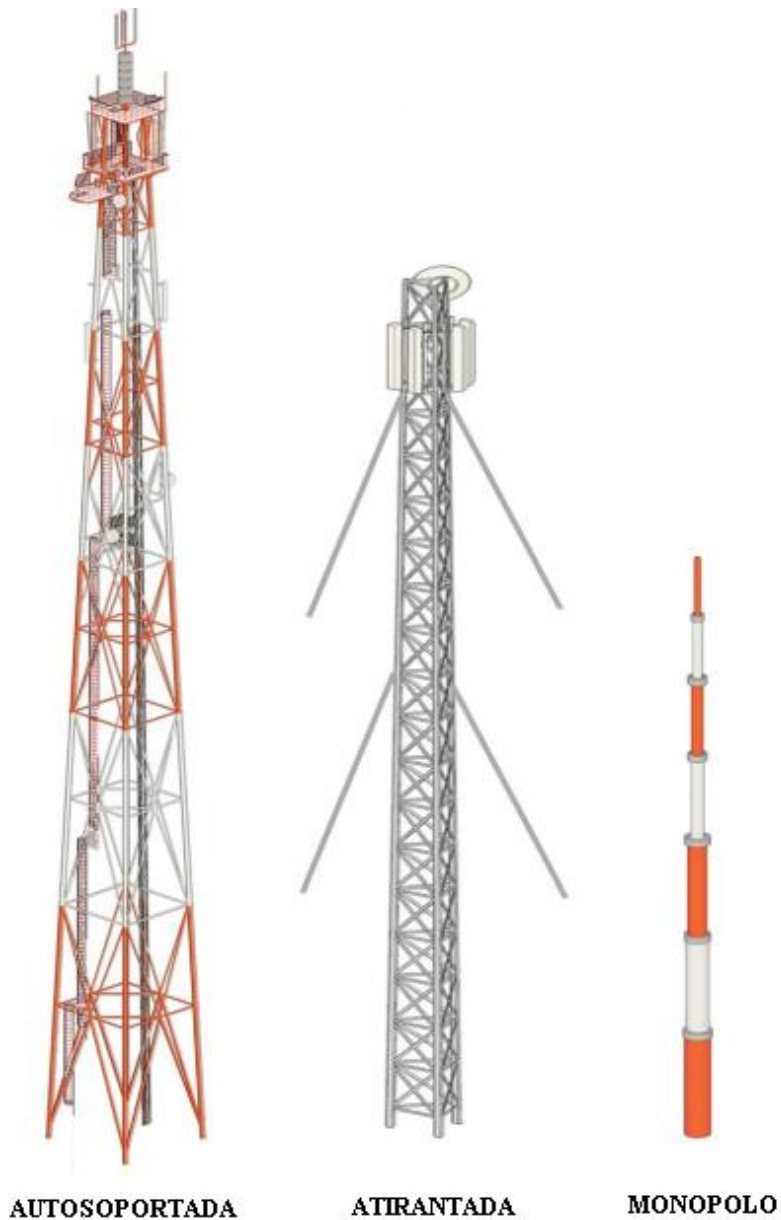


Figura 0.1. - Tipos de torres para telecomunicaciones

0.4.1. TORRE AUTOSOPORTADA

Este tipo de estructura se caracteriza por, como su nombre lo indica, soportar las solicitaciones por sus propios medios, es decir, sin necesidad de elementos auxiliares como tensores o riostras. La sección que resulta de vincular planos de celosías puede ser triangular o cuadrada. Los mayores esfuerzos se generan en la base (debido a la carga propia y el momento generado por el brazo de palanca entre los “postes”), es por ello que en general comienzan con una variación seccional troncocónica y luego se hacen constantes a partir de una cierta altura, donde los esfuerzos son menores. Los elementos componentes pueden ser de sección maciza, tubo, perfil ángulo (plegado 60° o 90°) o una combinación de los anteriores, que varían según el fabricante, la magnitud de las cargas, la acción del viento, etc.



Figura 0.2. - Torre autoportada de sección triangular y elementos tipo tubo



Figura 0.3. - Torre autoportada de sección cuadrada y elementos tipo ángulo



Figura 0.4. - Detalle de la base de torre autoportada

0.4.2. TORRE ATIRANTADA

Son estructuras conformadas por planos de celosías que, en comparación con las torres autosoportadas, presentan un menor porte y mantienen su estabilidad mediante tensores o riendas de acero ancladas al terreno circundante o bien a una construcción si la torre se instala en una azotea. En base a lo anterior, es de notar que necesitan mayor área para su emplazamiento, y por ello resultan convenientes en zonas rurales o poco urbanizadas. Las riendas se colocan a diferentes cotas en los vértices de la sección triangular de la torre mediante “cinturones” y “estrellas antirotoras” y los anclajes se materializan en general a una distancia mínima de un tercio de la altura total de la torre para garantizar verticalidad y evitar la torsión de la misma. Las configuraciones más usuales son de sección triangular y 3, 6 o 9 anclajes (según la altura) dispuestos cada 120° radialmente alrededor de la base o de sección cuadrada y 4 u 8 anclajes dispuestos cada 90° alrededor de la base. Al igual que en la anterior, los elementos que la conforman pueden ser del tipo macizo, tubo circular, perfil ángulo (plegado 60° o 90°) o una combinación de los anteriores.



Figura 0.5. - Torre atirantada de sección triangular y elementos tipo perfil ángulo



Figura 0.6. - Torre atirantada de sección triangular y elementos tipo tubo y perfil ángulo



Figura 0.7. - Anclajes de riendas de torre atirantada



Figura 0.8. - Base central de torre atirantada

0.4.3. TORRE MONOPOLO

Es una estructura conformada por sucesivas secciones tipo tubo que pueden o no disminuir su diámetro en altura y se unen mediante bulones. Estas son poco utilizadas en la actualidad ya que, por su geometría, conllevan un alto costo de construcción (gran cantidad de acero) y resultan antieconómicas. Por otro lado, son las que menor área de emplazamiento requieren, por lo que se suelen ver principalmente en zonas urbanizadas.



Figura 0.9. - Torre monopolo de acero galvanizado



Figura 0.10. - Torre monopolo sección superior

0.4.4. TIPOS DE ACCESORIOS

Sobre las torres para telecomunicaciones se instalan diversos componentes que implican cargas gravitatorias y, por otro lado, debido a su geometría, reciben grandes cargas de viento. Entre los principales accesorios se mencionan:

- Antenas
- Guías de onda
- Escalera de servicio

Las guías de onda o “cables” dependen principalmente de la cantidad y tipo de antenas que existan sobre la torre. Mientras mayor sea la cantidad de cables, mayor será el área proyectada y la influencia del viento sobre los mismos. Por otro lado, la escalera tendrá un área constante en altura a considerar en el impacto del viento.



Figura 0.11. – Escalera de servicio y guías de onda

En el caso de las antenas, se tienen distintos tipos según su función. Las más comunes son antenas para microondas del tipo “parabólica”, antenas para radio frecuencia del tipo “panel” y unidades de radio remotas (RRU) del tipo “caja”. Se colocan en distintas alturas y con distintos rumbos (azimut) según cálculo. Los elementos de fijación a la torre dependen principalmente del tipo de antena, el tamaño y el azimut de las mismas.

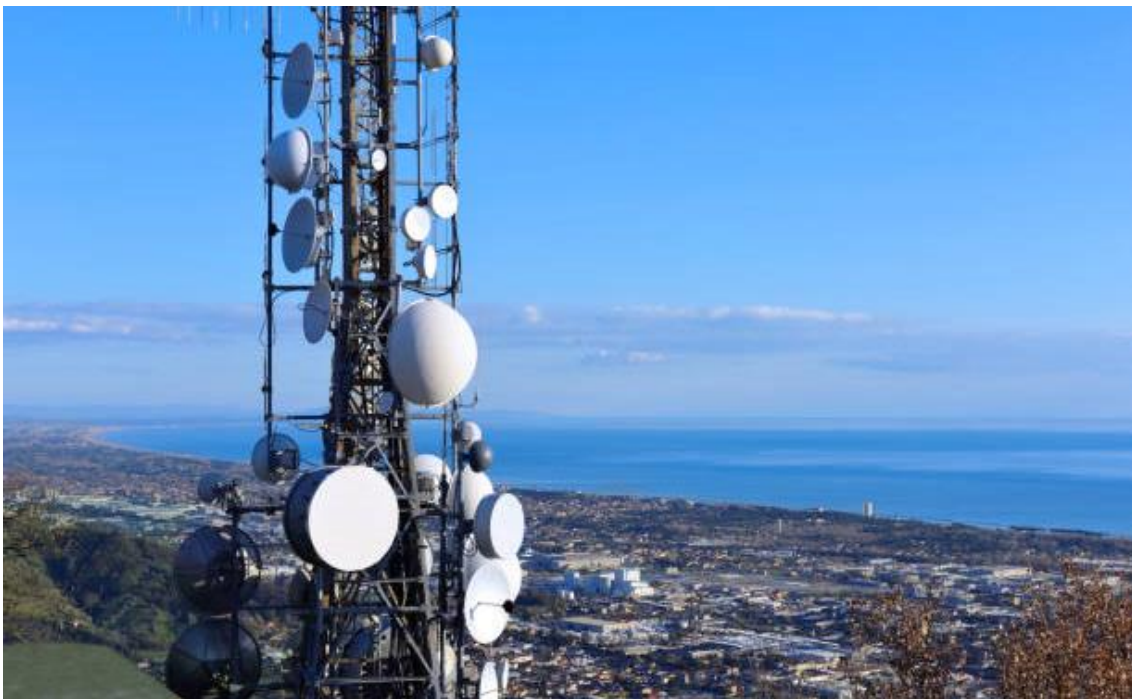


Figura 0.12. – Antenas para microondas



Figura 0.13. – Antenas para radio frecuencia



Figura 0.14. – Unidades de radio remotas (RRU)

1. DISEÑO DE TORRES ATIRANTADAS PARA TELECOMUNICACIONES

1.1. INTRODUCCIÓN

Las torres de este tipo son utilizadas para salvar grandes alturas por medio de la conjunción de elementos esbeltos que, al no aportar gran rigidez a la estructura, se le da estabilidad a través de cables de acero. Esta configuración resulta sumamente flexible y soporta grandes deformaciones frente a cargas laterales. Si bien esto se traduce en una ventaja a nivel económico, la complejidad de diseño aumenta debido a que presentan una respuesta estructural **no lineal**.

En Cuba, debido a la magnitud de los fenómenos naturales principalmente, se han estudiado en profundidad este tipo de torres y su comportamiento. En un trabajo realizado en el “Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría” se mencionan los principales aspectos a tener en cuenta en el diseño de torres atirantadas.

“Para la elaboración de la metodología fue necesario el estudio de distintos aspectos que influyen en el comportamiento estructural. Estos aspectos son: modelación de los cables, consideración de la no linealidad geométrica, asimetría por anclajes, presencia de antenas sobre la estructura, variación de los coeficientes de forma, permeabilidad de las torres, dirección del viento sobre la torre y comportamiento dinámico. Todos estos aspectos fueron estudiados a través de la modelación y análisis de torres existentes típicas y atípicas en el territorio nacional y torres falladas en el período 1996-2006.”^[1]

1.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las torres atirantadas tienen sus comienzos en la década del 50. Desde entonces, distintos expertos se han dedicado al estudio de su comportamiento estructural. Comenzando por Cohen y Perrin ^[2] en 1957 con las primeras aproximaciones hasta el día de hoy donde periódicamente se realizan ensayos y análisis para conocer aún más cómo se comportan estas estructuras y a futuro evitar catástrofes.

En el postulado que se menciona anteriormente ^[1] se describe la cronología de las investigaciones que se realizaron en torno al análisis de estas estructuras. Los aportes más relevantes hasta la década del 60 inclusive fueron dados por Goldberg y Meyers ^[3] con la inclusión en el análisis del efecto del viento sobre los cables, Shears y Clough ^[4] con la idealización mediante elementos finitos, Kahla ^[5] con su estudio sobre los “sistemas antirotadores” para minimizar desplazamientos angulares, Wahba y Madugula ^[6] con la utilización elementos tridimensionales para la torre y elementos no lineales para los cables y la confirmación de hipótesis previas sobre la respuesta no lineal frente a cargas de viento. A finales de la década del 60 distintos autores comenzaron a interesarse en el comportamiento dinámico de estas estructuras debido a las oscilaciones en las cargas de vientos y sísmicas. Davenport ^[7], Solari ^[8] y Holmes ^[9] fueron quienes se dedicaron a

estos estudios. Principalmente siguieron dos caminos para la determinación de las fuerzas estáticas equivalentes, por un lado, propusieron una “única” distribución de cargas multiplicada por un coeficiente adimensional que denominaron “factor de ráfaga”, y por otro lado la utilización de una “combinación” de distribuciones de cargas diferentes.

1.3. REGLAMENTO ARGENTINO DE TORRES PARA TELECOMUNICACIONES

Para el diseño/verificación de una torre para telecomunicaciones del tipo “atirantada” se utiliza en este caso, el **procedimiento de cálculo** (con ítems específicos para esta tipología) que propone el reglamento CIRSOC 306.

Respecto al tipo de diseño en que se basa, el reglamento menciona:

*“Este Reglamento se basa en el **diseño por estados límites últimos y de servicios**. Se aplica fundamentalmente a las estructuras de acero, pero en caso de ser requerido, también será de aplicación para otros materiales de manera de proveer un nivel de confiabilidad equivalente.”*^[10]

Por otro lado, el campo de aplicación del mismo se resume en los siguientes párrafos:

*“Este Reglamento establece los requisitos para el **diseño estructural** y para la **fabricación de estructuras** nuevas, así como para la **modificación de estructuras** existentes, además de especificar requisitos para el diseño estructural, la fabricación y la modificación de las estructuras, soportes, componentes estructurales, riendas, aisladores y fundaciones que soportan antenas.”*^[10]

*“Este Reglamento es de aplicación para el cálculo de **las áreas efectivas proyectadas de los accesorios** (antenas, soportes, cables, etc.) y para la determinación de los estados límite de servicio apropiados para las estructuras que soportan antenas.”*^[10]

1.4. RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL PARA UNA TORRE ATIRANTADA

En este apartado se comenta en forma breve cuáles son los pasos a seguir para el diagnóstico y la verificación estructural de una torre para telecomunicaciones:

- a) Relevamiento de la estructura existente. (Tercerizado en este proyecto)
- b) Confección de un “informe de relevamiento”. (Tercerizado en este proyecto)
- c) Lectura y análisis del informe. Identificación de dimensiones y tipos de secciones, alturas/cotas relevantes, ángulos de anclajes, etc.
- d) Análisis de cargas: Cálculo o estimación de cargas permanentes.
- e) Análisis de cargas: Cálculo de cargas de viento y efectos del hielo si fuese necesario.
- f) Análisis de cargas: Cálculo de cargas sísmicas si fuese necesario.

- g) Análisis de cargas: Combinaciones de cargas.
- h) Modelo: Modelado alámbrico de la geometría, definición de las secciones y materiales, tipos de elementos, pretensado de riendas, colocación de las cargas, etc.
- i) Resistencias requeridas últimas: Cálculo mediante software.
- j) Resistencias de diseño: Cálculo mediante software y planillas de cálculo.
- k) Verificación: Comparación de resistencias.
- l) Análisis en servicio: Comparación de deformaciones máximas bajo combinaciones de carga en servicio y el permitido por la norma.

1.5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se basa en el estudio de una torre para telecomunicaciones instalada hace algunos años, perteneciente a la empresa Claro. La estructura tipo “torre atirantada” se encuentra situada en la localidad de Lolita, Departamento presidente Hayes, Paraguay. Debido a modificaciones o agregados que se pretenden materializar sobre dicha torre, por cambios en la normativa y por cuestiones de mantenimiento, es que la empresa solicita el diagnóstico de la estructura.

1.6. NORMATIVAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO

- NP 196 – Acción del viento en las construcciones (Paraguay).
- CIRSOC 101 2005 – Reglamento argentino de cargas permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras.
- CIRSOC 306 2018 – Reglamento argentino de estructuras de acero para antenas.
- ANSI TIA 222 G – Structural standard for antenna supporting structures and antennas (complementariamente).
- CIRSOC 303 2009 – Elementos de acero conformados en frío.

1.7. MATERIALES UTILIZADOS EN EL PROYECTO

Según el informe de relevamiento recibido, se emplean los siguientes materiales para cada elemento:

- Cordones: ASTM A52 / Calidad F-36
- Diagonales: ASTM A36 / Calidad F-24
- Cinturones: ASTM A36 / Calidad F-24
- Estrellas: ASTM A36 / Calidad F-24
- Bulones: ISO 8.8 / Calidad A325
- Riendas: Grado 120 a 140 daN/mm² / Norma IRAM 722

2. ESTRUCTURACIÓN

2.1. GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA

2.1.1. GENERALIDADES

La torre tiene una altura de 90 m y su sección transversal resulta un triángulo formado por 3 planos de celosías de 1,10 m de ancho. Cuenta con 2 “estrellas antirrotoras” con forma piramidal (modelo N°01 en informe) y 4 “cinturones” donde se fijan las riendas (cables de acero). En la base dispone de una “rotula” con forma de pirámide invertida (modelo N°01 en el informe) que le permite apoyarse en un “único” punto. Dicho apoyo se hace sobre una fundación de tipo pilote o grupo de pilotes.

2.1.2. UBICACIÓN DE ANCLAJES

Cuenta con 3 puntos de anclajes para los cables que llegan desde la torre. Se posicionan a 120° entre ellos y a una distancia desde el eje de la torre de 45 m. Estos anclajes cuentan con una “chapa de nudo” con 6 perforaciones para cada una de las riendas, las cuales tienen distintos ángulos de inclinación respecto al plano horizontal.

2.1.3. CONFIGURACIÓN DE TRAMOS

Está compuesta por 15 tramos (separación entre empalmes), de los cuales 13 son de 6 m y 2 son de 1,60 m y 4,40 m, que pertenecen a la rótula y su tramo contiguo, respectivamente. Cada plano de celosía tiene 2 cordones (chapa plegada a 60° para poder formar la sección transversal de la torre) y N número de diagonales (perfil L) dependiendo si en el tramo hay uno o dos pasos de diagonales (simples o dobles) y de la longitud del mismo. En este caso, la torre posee 4 tramos (de 6 m) con diagonales dobles donde $N = 20$, 9 tramos (de 6 m) con diagonales simples donde $N = 10$, 1 tramo (de 4,40 m) con diagonales simples donde $N = 8$ y el tramo de la rótula (de 1,60 m) con diagonales simples donde $N = 4$.

2.1.4. NIVELES DE RIENDAS

Las riendas que le dan estabilidad a la torre se fijan a la misma en 6 niveles/cotas. Comenzando desde abajo hacia arriba se tienen 4 cinturones (perfil L) en las siguientes cotas: +13,50 m, +28,50 m, +40,50 m y +57,50 m. Luego, a +73 m y +85 m, se disponen las “estrellas antirrotoras” anteriormente mencionadas. Estas son estructuras reticuladas de 3 brazos que, como se intuye en el nombre, evitan la torsión en la torre. Esto último se

logra “tirando” desde cada brazo de la estrella hacia 2 anclajes distintos (conectividad modelo N°01 en el informe).

2.1.5. ANTENAS Y ACCESORIOS CONSIDERADOS

Por último, la torre está dotada de diferentes antenas y accesorios sobre los cuáles el viento genera grandes cargas. Estos elementos se detallan en lo siguiente:

- +49,50 metros: Antena MW/HP (microondas) de 1,20 m de diámetro
- +59 metros: Antena MW/HP (microondas) de 1,80 m de diámetro
- +67,5 metros: Antena RRU de 0,55 x 0,50 m
- +70 metros: 2 antenas RRU de 0,51 x 0,31 m
- +70 metros: 2 antenas RRU de 0,58 x 0,32 m
- +70 metros: 3 antenas RF/PN (radiofrecuencia) de 2 x 0,35 m
- Altura total: Guías de onda (cables)
- Altura total: Escalera (servicio o mantenimiento)

2.1.6. TIPOS DE SECCIONES

- Cordones rótula: Chapa plegada < 190 x 9,5 mm
- Cordones tramo +1,60 m a +36 m: Chapa plegada < 190 x 9,5 mm
- Cordones tramo +36 m a +48 m: Chapa plegada < 190 x 6,4 mm
- Cordones tramo +48 m a +90 m: Chapa plegada < 160x 6,4 mm
- Diagonales rótula: Perfil L 44 x 4,8 mm
- Diagonales tramo +1,60 m a +84 m: Perfil L 38 x 3,2 mm
- Diagonales tramo +84 m a +90 m: Perfil L 44 x 3,2 mm
- Cinturones: Perfil L 64 x 6,4 mm
- Estrellas: Perfil L 64 x 6,4 mm
- Rendas 1° nivel: Cable de acero 7,5 mm (1x7)
- Rendas 2° y 3° nivel: Cable de acero 12,5 mm (1x19)
- Rendas 4° y 5° nivel: Cable de acero 16 mm (1x19)
- Rendas 6° nivel: Cable de acero 19 mm (1x19)

2.2. PLANOS Y ESQUEMAS

En este apartado se presenta documentación gráfica extraída del informe pertinente.

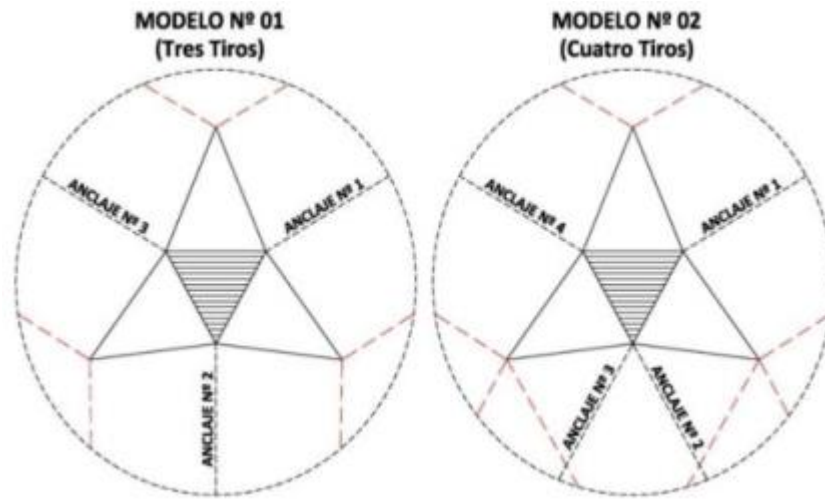


Figura 2.1. - Tipo de conectividad estrellas-riendas.

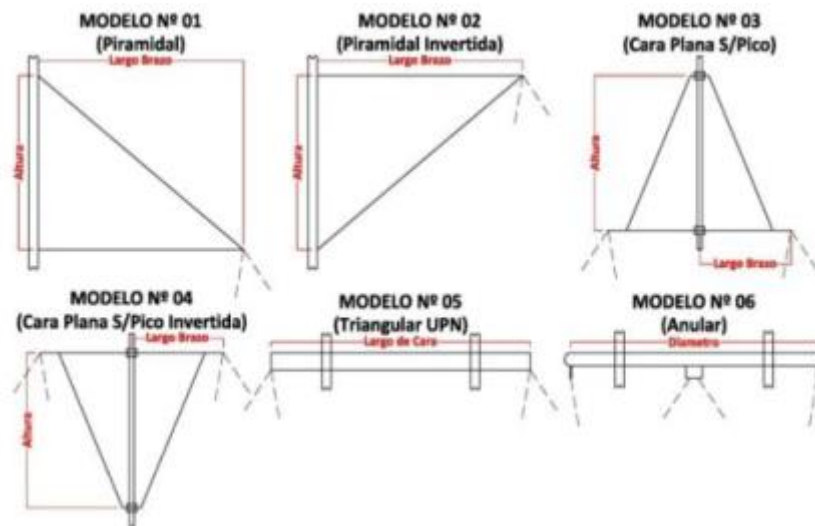


Figura 2.2. - Modelos geométricos de estrellas.

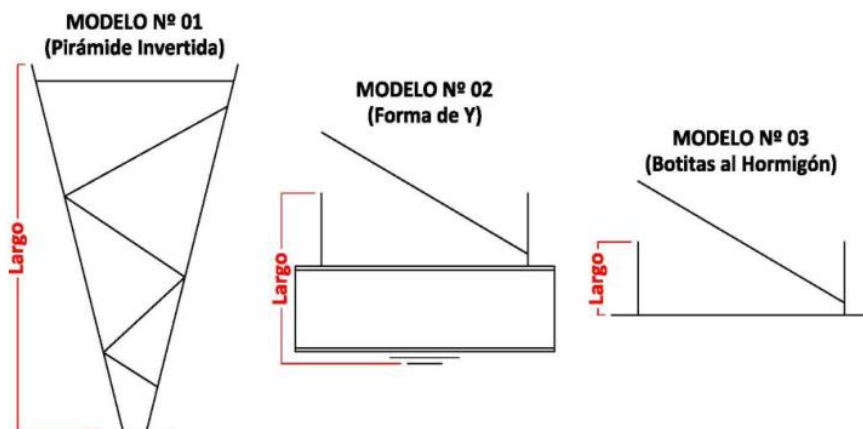


Figura 2.3. - Modelos de rótula y pata.

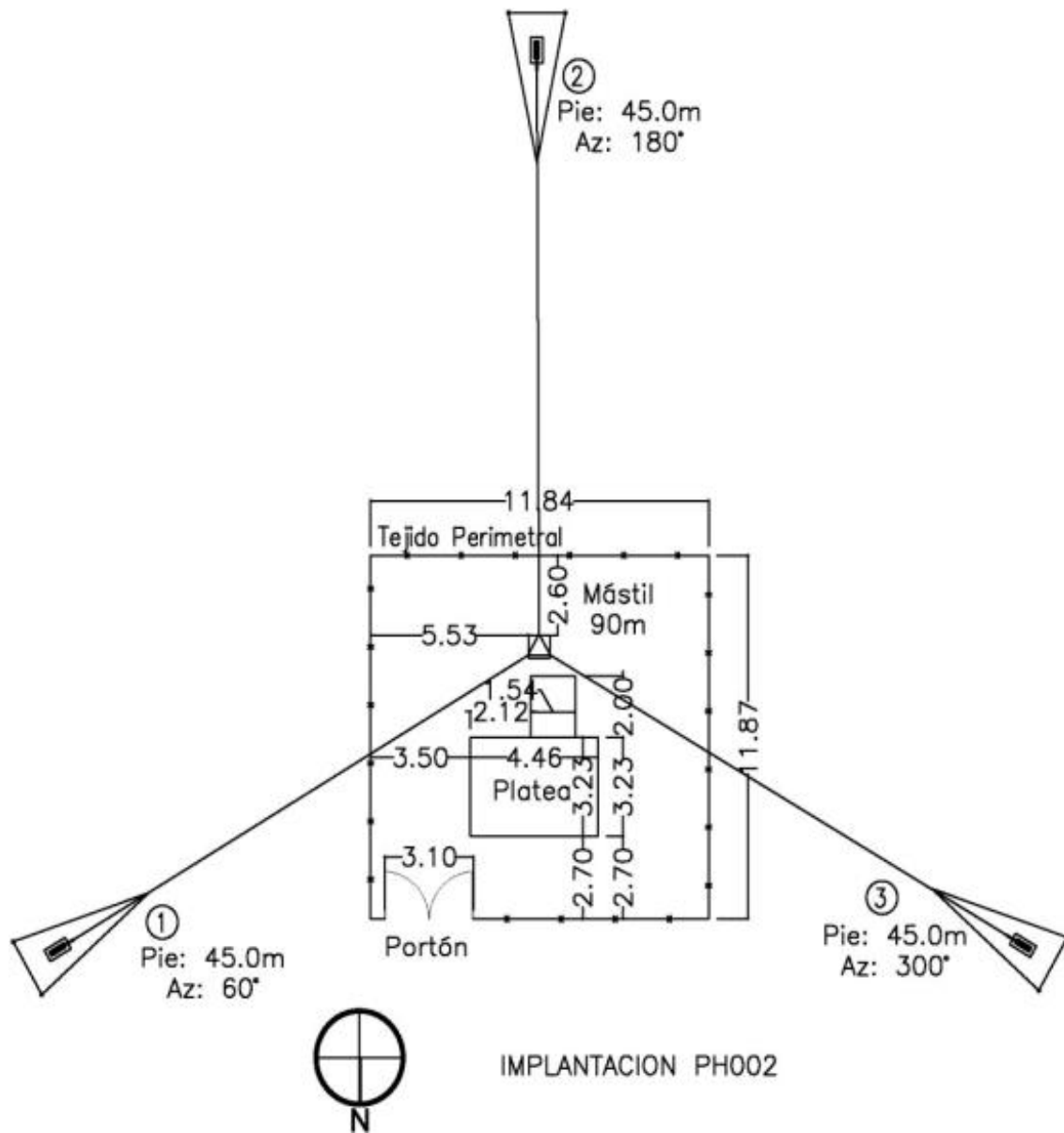


Figura 2.4. - Posición de anclajes respecto de la base.

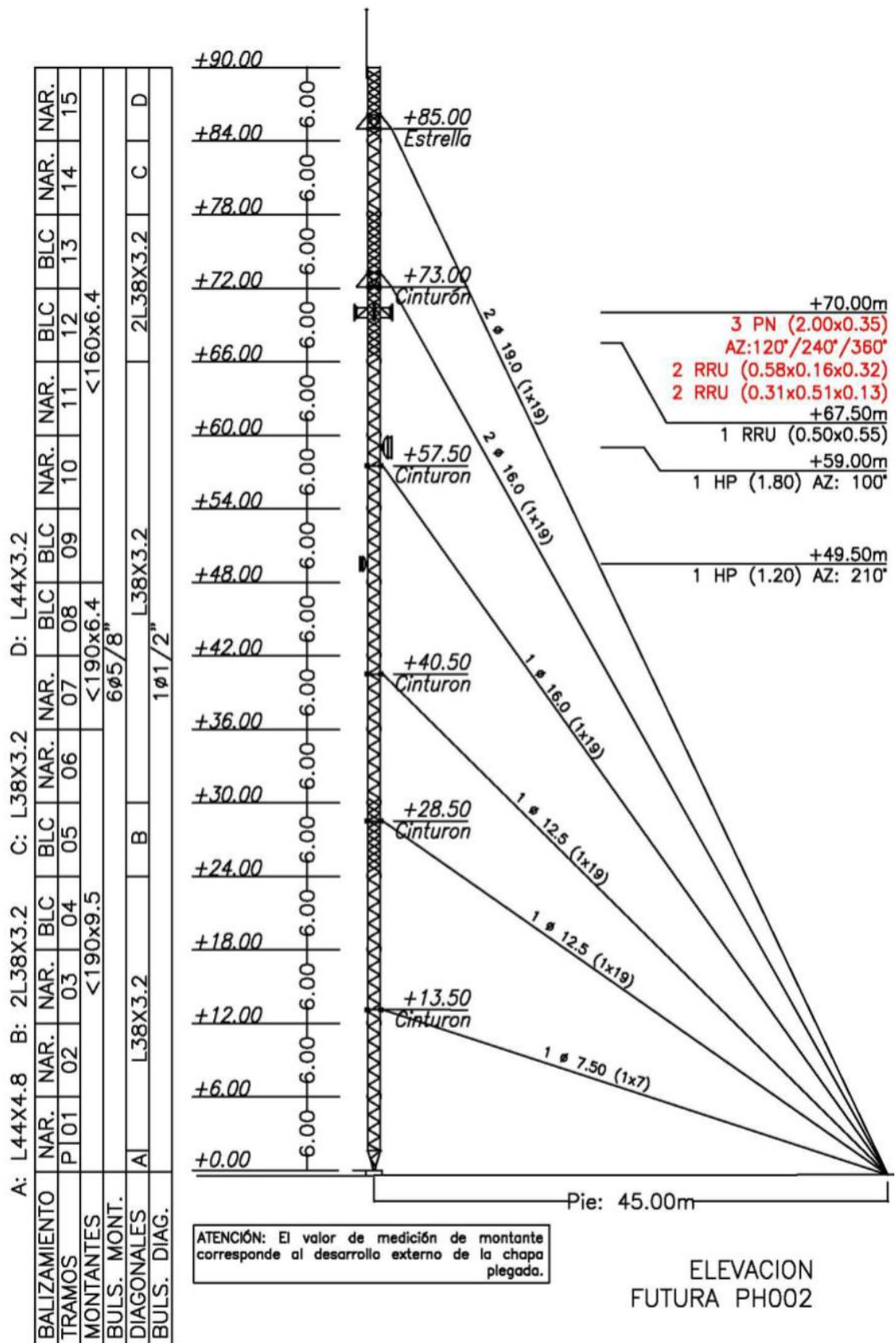


Figura 2.5. - Configuración de tramos, tipos de secciones, niveles de riendas y antenas.

3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

3.1. SOFTWARE DE ANÁLISIS

Se trabaja con el software de análisis estructural y diseño de elementos, alemán, RFEM 5 de la firma Dlubal Software, en versión 5.25, bajo licencia para tesis.

Este programa presenta, entre otras aplicaciones, un “motor” de cálculo de estructuras de acero basado en la AISC (American Institute of Steel Construction) que aplica las metodologías LRFD y ASD 2016 (Load and Resistance Factor Design; Allowable Stress Design), de las cuáles se basa el reglamento argentino CIRSOC 301.

3.2. TIPO DE ANÁLISIS

3.2.1. INTRODUCCIÓN

Como ya se mencionó, esta clase de estructura presenta un comportamiento no lineal bajo condiciones de servicio. Esto hace que no se pueda aplicar el principio de superposición de los efectos en el modelo (desplazamientos, deformaciones y tensiones).

La no linealidad puede generarse por diferentes motivos como ser la geometría, el material, las condiciones de contorno, etc. En este caso, el comportamiento no lineal se da por los cambios en la rigidez de los cables debido a variaciones tensionales y a los grandes desplazamientos de la estructura bajo solicitaciones de diseño. Las cargas de viento aplicadas en la torre hacen que se deforme lateralmente (ver Figura 3.1.), desplazándose los puntos de fijación de las riendas a la estructura y por ende cambiando constantemente las componentes horizontal y vertical de la reacción del cable.

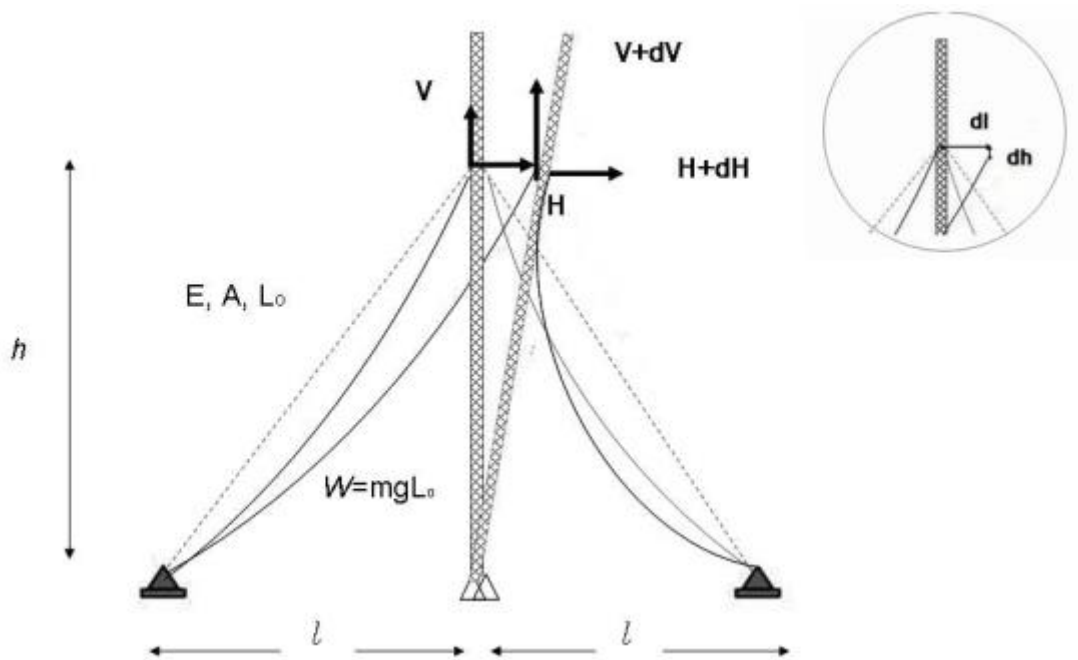


Figura 3.1. – Deformación lateral de la torre y cambio en las componentes de la reacción del cable.

Se puede observar que los cables que quedan a “barlovento” aumentan la tensión inicial y se vuelven más rígidos, mientras que aquellos que estén a “sotavento” se destensan y aumentan su flecha. Cuando dicha flecha es excesiva, dejan de tener validez las expresiones lineales de cálculo y se debe recurrir a un análisis de segundo orden.

3.2.2. ANÁLISIS DE SEGUNDO ORDEN Y GRANDES DEFORMACIONES

El análisis de segundo orden (P-Delta / P-delta) consiste en determinar el equilibrio en un sistema estructural deformado. El cálculo según este análisis detecta los efectos de la **deformación** de la estructura debido a las cargas, que afecta a la distribución de esfuerzos internos. Es decir, el software realiza iteraciones de cálculo y al finalizar cada una va generando sucesivamente las nuevas matrices de rigidez del sistema deformado. Las iteraciones continúan hasta alcanzar el equilibrio.

Por lo expuesto en la parte introductoria de este apartado, se considera acertado y necesario utilizar un análisis no lineal específico denominado “Análisis de grandes deformaciones”. Este método no solo considera la deformación (lateral) sino también los **giros** de la estructura.

A modo de ejemplo, se presenta la formulación para el cálculo del momento en el empotramiento de una viga metálica en voladizo con cargas en el extremo (H: lateral/cortante; N: vertical/axial), tanto para el análisis de segundo orden como para el de grandes deformaciones.

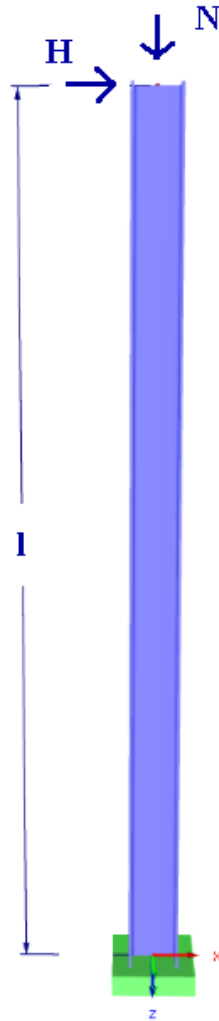


Figura 3.2. – Modelo de viga metálica empotrada.

Análisis de segundo orden:

$$M_{II} = H \cdot l + N \cdot e_x$$

Análisis de grandes deformaciones:

Notar que, al involucrar los desplazamientos en ambas direcciones, se tiene en cuenta el giro que experimenta la viga en su extremo.

$$M_{III} = H \cdot (l - e_z) + N \cdot e_x$$

Siendo e_x y e_z las deformaciones en el extremo superior de la viga.

Por último, se menciona que el método para resolución del sistema de ecuaciones algebraicas no lineales adoptado es el de Newton – Raphson.

En la siguiente captura del software se muestran los parámetros de cálculo definidos para todos los casos de carga existentes.

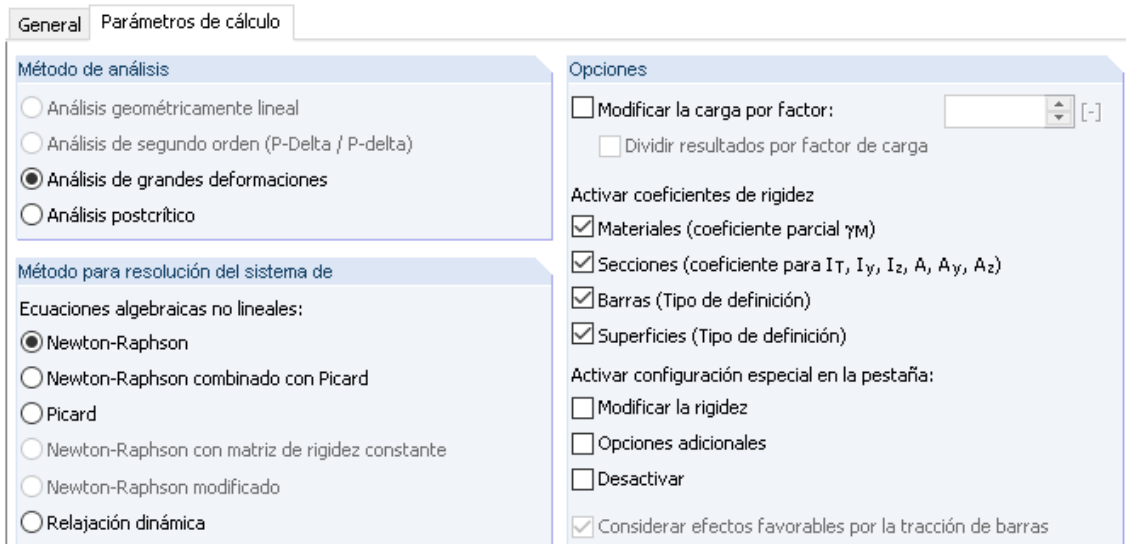


Figura 3.3. – Parámetros de cálculo definidos en el proyecto.

4. ANÁLISIS DE CARGAS

4.1. GENERALIDADES

En este apartado se analizan y cuantifican las cargas que solicitan a la estructura en cuestión. Para el cálculo o estimación se utilizan fichas técnicas, antecedentes y planillas de cálculo.

Es muy importante el proceso de colocación de las cargas en el modelo, tanto en magnitud como en la dirección y sentido de las misma. Además, se establece un criterio para determinar qué elementos estructurales reciben las cargas y de qué manera.

Los estados de carga que se analizan son:

- Peso propio
- Cargas permanentes
- Sobrecargas
- Sismo
- Nieve y hielo
- Viento

A continuación, se detalla cada uno justificando la consideración o no dentro de los cálculos.

4.2. PESO PROPIO

Las cargas generadas por el peso propio de la estructura (que no son menores) se consideran mediante el software de diseño una vez definido el modelo, y se ajustan automáticamente ante algún eventual cambio en el modelo.

4.3. CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanente extras al peso propio son generadas por las antenas instaladas en la torre. En lo siguiente se presenta una tabla con los pesos considerados para cada tipo de antena.

Antenas					
Nivel	Tipo	Dimensión	Separación	Azimut	Peso
[m]		[m]	[m]	[°]	[kgf]
49,5	HP	1,20	0,40	210	60
59	HP	1,80	0,70	100	60
67,5	RRU	0,55 x 0,50	0,30	-	25
70	2RRU	0,51 x 0,31	0,30	-	25
70	2RRU	0,58 x 0,32	0,30	-	25
70	Panel	2,00x0,35	1,50	120	42
70	Panel	2,00x0,35	1,50	240	42
70	Panel	2,00x0,35	1,50	360	42

Nota: se considera el peso propio de los brazos que soportan los componentes mediante el software de análisis (valor promedio: 45 kgf).

Tabla 4.0. – Características de las antenas.

4.4. SOBRECARGAS

No se consideran sobrecargas en este caso. Partiendo de la base de que las acciones del viento son las principales y más desfavorables para la estructura, y teniendo en cuenta que estas no coexisten con el personal de mantenimiento trabajando en simultáneo, es que se omiten de las combinaciones de carga.

4.5. SISMO

Analizando el mapa de peligrosidad sísmica de la zona, y las normativas paraguayas, se concluye que el sismo no es una acción determinante en el sector donde se emplaza la estructura estudiada.

4.6. NIEVE Y HIELO

Analizando el mapa de acumulación de nieve de la zona, y las normativas paraguayas, se concluye que la nieve, al igual que en el caso del sismo, no es una acción determinante en el sector donde se emplaza la estructura estudiada.

Es importante aclarar que la decisión de no considerar la influencia de la nieve o su posterior transformación en hielo, genera una “simplificación” en el cálculo de cargas de viento que se detalla en los siguientes apartados.

4.7. VIENTO

4.7.1. GENERALIDADES SOBRE ACCIÓN DEL VIENTO

Las torres y estructuras que soportan antenas tienen, como se mencionó anteriormente, geometrías y características de respuesta poco habituales frente a las cargas debidas a la acción del viento. Las disposiciones del Reglamento CIRSOC 306 consideran los efectos de amplificación de las cargas que provocan las ráfagas de viento, en resonancia con las vibraciones en el sentido del viento, en estructuras auto soportadas y atirantadas que soportan antenas, mediante el siguiente procedimiento:

1. Se determina la velocidad básica del viento, “V”, según mapa de vientos del lugar de emplazamiento.
2. Se determina un factor de probabilidad de dirección del viento, “Kd”, según tabla.
3. Se determina un factor de importancia “I” de tabla, en base a la clasificación de la estructura.
4. Se determina una categoría de exposición y un coeficiente de presión dinámica, “Kz”, para el sitio de emplazamiento según artículo 2.6.5.
5. Se determina una categoría topográfica y un factor topográfico, “Kzt”, según el artículo 2.6.6.
6. Se determina un factor de efecto de ráfaga, “Gh”, según el artículo 2.6.7.
7. Se determinan las fuerzas de viento de diseño según el artículo 2.6.9.

Un aspecto a tener en cuenta en el accionar del viento es la dirección del mismo respecto a la estructura y sus componentes, es por ello que se definen anclajes, caras de la torre y accesorios con sus rumbos (azimut) respecto al norte, y de este modo se facilita el análisis de las cargas en las direcciones que contempla el reglamento.

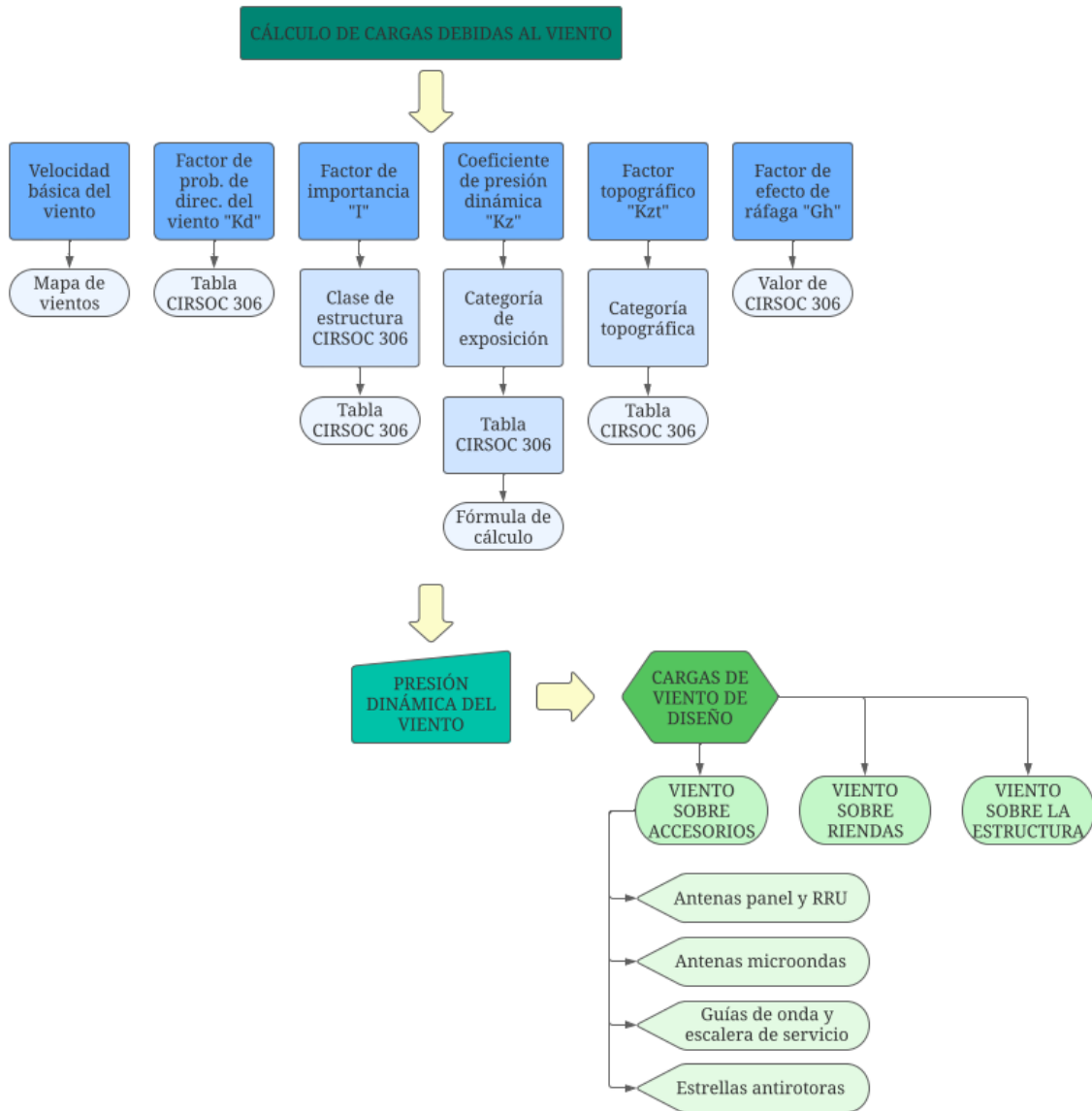


Figura 4.0. – Diagrama de flujo del cálculo de las fuerzas de viento.

4.7.2. PRESIÓN DINÁMICA DE VIENTO

Previo al cálculo de la presión dinámica, es necesario definir algunos parámetros como se mencionó anteriormente:

Velocidad básica del viento (V)

En este caso, no se obtiene del reglamento argentino sino de la norma paraguaya NP196 que presenta el siguiente mapa de vientos:

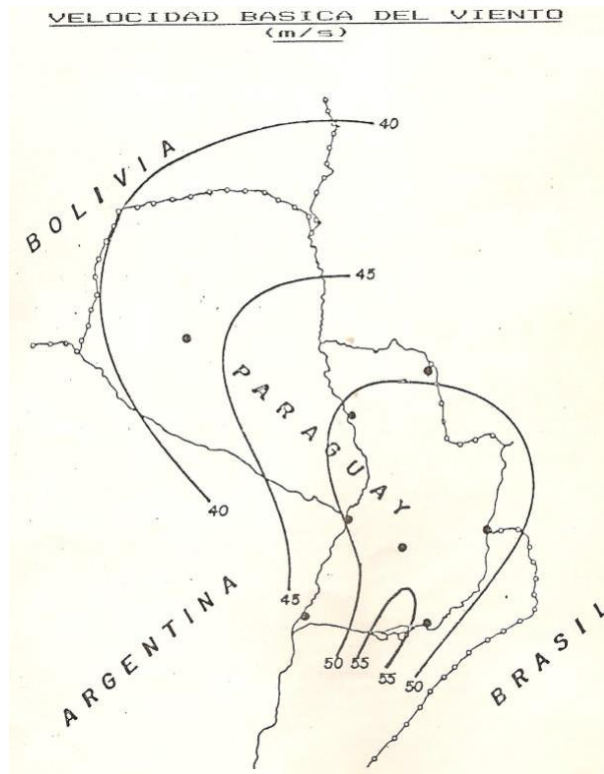


Figura 4.1. – Velocidad básica del viento (NP 196).

Para lograr una mayor precisión, se utiliza el mapa de vientos (NP 196) provisto por la página oficial de Dlubal.

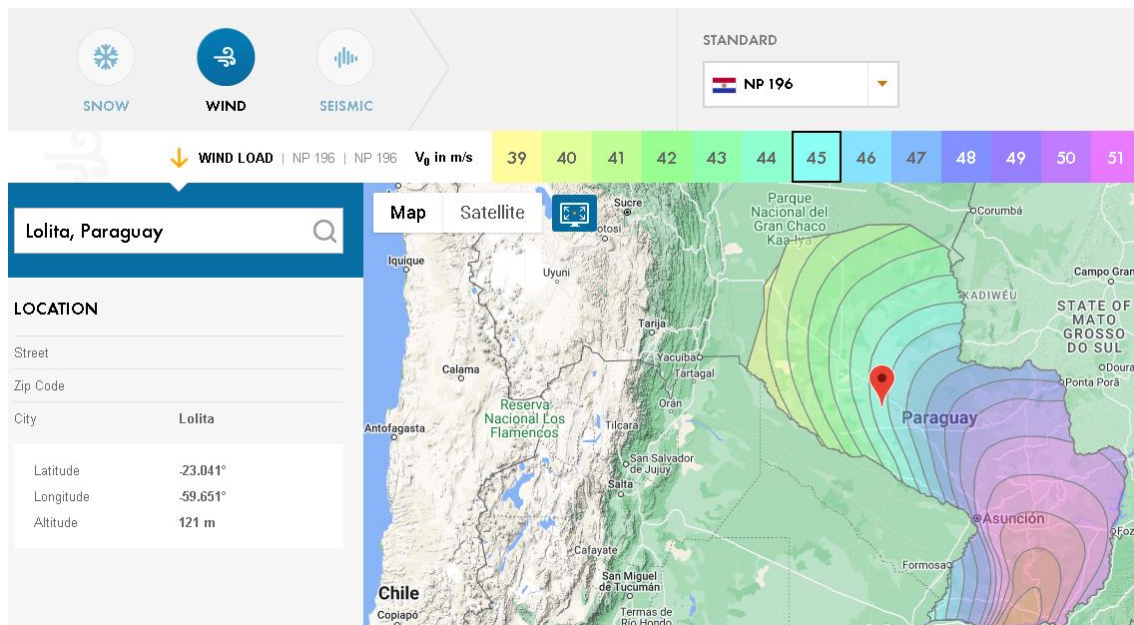


Figura 4.2. – Mapa de vientos Dlubal.

La velocidad adoptada para la zona de emplazamiento de la antena (Zona de Lolita, en el Departamento presidente Hayes) es de $V = 45 \text{ m/s}$ (para un período de recurrencia de 50 años).

Factor de probabilidad de dirección del viento (K_d)

Depende del tipo de estructura y se define en función de la siguiente tabla:

Tipo de estructura	Factor de probabilidad de dirección del viento, K_d
Estructuras reticuladas con sección transversal triangular, cuadrada o rectangular incluyendo accesorios.	0,85
Monopostes, estructuras reticuladas con secciones transversales que no sean triangulares, cuadradas o rectangulares, diseño por resistencia de accesorios.	0,95

Tabla 4.1. – Factor de probabilidad de dirección del viento (K_d).

Por tratarse de una estructura reticulada con sección transversal triangular $K_d = 0,85$

Factor de importancia (I)

En primera instancia, se clasifica la estructura según el potencial peligro de la misma ante una eventual falla.

Descripción de la estructura	Clase
Estructuras que debido a la altura, uso o ubicación representan un bajo peligro para la vida humana y daño a la propiedad en caso de falla y/o son usadas para servicios opcionales y/o donde una demora en el retorno de los servicios puede ser aceptable.	I
Estructuras que debido a la altura, uso o ubicación representan un peligro significativo para la vida humana y/o daño a la propiedad en caso de falla y/o son usadas para servicios que pueden ser provistos por otros medios.	II
Estructuras que debido a la altura, uso o ubicación representan un peligro considerable para la vida humana y/o daño a la propiedad en caso de falla y/o son usadas para comunicaciones esenciales.	III
<p>Nota: Las estructuras que presenten relaciones excepcionalmente reducidas entre su dimensión en la base y su altura o entre su pie de riendas y su altura, y que se encuentren ubicadas en zonas urbanas, serán clasificadas en la categoría inmediata superior a la que les correspondería sin considerar tales relaciones.</p>	

Tabla 4.2. – Clase de estructura.

Para el mástil en cuestión, se define a la estructura como “**Clase II**”

Una vez clasificada la estructura, se adopta el factor en función de la siguiente tabla:

Clase de estructura	Carga de viento sin hielo	Carga de viento con hielo	Espesor de hielo
I	0,87	N/A	N/A
II	1,00	1,00	1,00
III	1,15	1,00	1,25

Nota: Las cargas de hielo no se aplican a estructuras de **Clase I**.

Tabla 4.3. – Factor de importancia.

Entrando con “Clase I” y “Carga de viento sin hielo” resulta **I = 1,00**

Categoría de exposición

Se determina una categoría de exposición (artículo 2.6.5.1) que refleje adecuadamente las características de las irregularidades superficiales del terreno en el sitio de emplazamiento.

Se tienen en cuenta las variaciones de rugosidad superficial del terreno que surjan como consecuencia de la topografía natural y la vegetación, así como las construcciones existentes. Las estructuras se deben evaluar según una de las categorías de exposición siguientes:

- **Exposición B:** áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones poco separadas entre sí, de tamaño igual o mayor que el de una vivienda unifamiliar. El uso de esta exposición se debe limitar a aquellas áreas en las cuales la estructura esté rodeada en todas direcciones por terrenos representativos de la Exposición B en una distancia, como mínimo, de 800 m o veinte veces la altura de la estructura; de ambos el valor que resulte mayor.
- **Exposición C:** terreno abierto con obstrucciones dispersas de altura generalmente inferior a 10 m. Esta categoría incluye campo abierto y prados. Los emplazamientos localizados dentro de la Exposición B a una distancia mayor que 1600 m, pero menor que 20 veces la altura de la estructura, del límite con una Exposición D serán considerados Exposición C.
- **Exposición D:** franjas costeras planas sin obstrucciones expuestas a vientos provenientes de aguas abiertas en una distancia de al menos 1600 m. Las franjas costeras de Exposición D incluyen los cursos de agua interiores, lagos y áreas costeras. La Exposición D se extiende tierra adentro en una distancia de 200 m o

veinte veces la altura de la estructura, el valor que resulte mayor. Las marismas, salinas y otros terrenos similares, se deben considerar como Exposición D.

En base al informe de relevamiento y considerando que la estructura se emplaza en zona rural, se determina que la exposición es tipo “C”.

Coefficiente de presión dinámica (Kz)

En base a la categoría de exposición determinada en el inciso anterior, se calcula el coeficiente de presión dinámica según el artículo 2.6.5.2 de la siguiente manera:

$$Kz = 2,01 * \left(\frac{z}{z_g}\right)^{2/\alpha}$$

$$Kz_{mín} \leq Kz \leq 2,01$$

siendo:

z = la altura sobre el nivel de terreno en la base de la estructura.

z_g = altura nominal de la capa límite atmosférica.

α = exponente de la ley potencial de la velocidad de ráfaga de 3 segundos.

K_zmín = valor mínimo para Kz

K_e = constante de terreno

Los valores de estas variables se encuentran en la tabla 2.4 de la norma

Categoría de exposición	z _g [m]	α	K _z mín	K _e
B	370	7,0	0,70	0,90
C	270	9,5	0,85	1,00
D	210	11,5	1,03	1,10

Tabla 4.4. – Factor de exposición.

En este caso, el valor de Kz no es único, sino que va aumentando en altura. Para el valor “z” se toman las **alturas medias de cada tramo del mástil**.

Categoría topográfica

Se asigna a la estructura en función del sitio donde se emplaza la estructura. La norma establece cinco categorías diferentes en el artículo 2.6.6.2

En este caso, se asigna la **Categoría 1** caracterizada por terrenos que no presentan cambios abruptos en elevación en su topografía general, por ejemplo, terrenos llanos u ondulados.



Figura 4.3. – Categoría topográfica.

Factor topográfico (K_{zt})

Por tratarse de la **Categoría 1**, el artículo 2.6.6.4 de la norma establece que no es necesario considerar el efecto acelerador del viento y por ende el factor topográfico **$K_{zt} = 1$** .

Factor de efecto de ráfaga (G_h)

El artículo 2.6.7.2 de la norma establece que para “Mástiles atirantados” el factor de efecto de ráfaga debe ser **$G_h = 0,85$** .

Presión dinámica (q_z)

Finalmente, la presión dinámica se calcula, para cada altura media de tramo “z”, a través de la expresión:

$$q_z [N/m^2] = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I$$

Siendo **K_z , K_{zt} , K_d , V e I** parámetros definidos con anterioridad.

A continuación, se adjuntan las tablas para el cálculo de la presión dinámica:

Datos generales				
V	Kd	I	Kzt	Gh
[m/s]				
45	0,85	1	1	0,85

Tabla 4.5. – Datos generales (1).

Datos generales				
Exposición	z _g	α	K _{zmín}	K _e
	[m]			
C	270	9,5	0,85	1

Tabla 4.6-. – Datos generales (2).

Presiones dinámicas				
Tramo	Elevación máx. tramo	z	Kz	qz
	[m]	[m]	[m]	[N/m ²]
0 a 1,6	1,6	0,8	0,85	896,86
1,6 a 6	6	3,8	0,85	896,86
6 a 12	12	9	0,98	1036,40
12 a 18	18	15	1,09	1154,07
18 a 24	24	21	1,17	1238,79
24 a 30	30	27	1,24	1306,09
30 a 36	36	33	1,29	1362,45
36 a 42	42	39	1,34	1411,22
42 a 48	48	45	1,38	1454,38
48 a 54	54	51	1,42	1493,22
54 a 60	60	57	1,45	1528,59
60 a 66	66	63	1,48	1561,14
66 a 72	72	69	1,51	1591,33
72 a 78	78	75	1,53	1619,51
78 a 84	84	81	1,56	1645,97
84 a 90	90	87	1,58	1670,91

Tabla 4.7. – Presiones dinámicas.

4.7.3. CARGA DE VIENTO DE DISEÑO

El artículo 2.6.9 del reglamento establece que la carga de viento de diseño contempla la suma de las fuerzas de viento de diseño horizontales aplicadas a la estructura en la dirección del viento, más las fuerzas de viento de diseño sobre las riendas y accesorios. Se debe suponer que todos los accesorios, incluyendo antenas, soportes y cables permanecen intactos y unidos a la estructura.

El diseño por resistencia se basa en las direcciones de viento que provocan las máximas respuestas. En el caso de estructuras reticuladas, para cada cara se considera cada una de las direcciones de viento indicadas en la tabla siguiente de la norma.

Sección transversal de la torre	Cuadrada		Triangular		
	Normal	45°	Normal	60°	+90°
D_f	1,0	1+0,75ε (1,2 máx.)	1,0	0,80	0,85
D_r	1,0	1+0,75ε (1,2 máx.)	1,0	1,0	1,0

Las direcciones del viento se miden con respecto a una línea normal a la cara de la estructura.

Tabla 4.8. – Direcciones del viento consideradas.

La sección del mástil es triangular, similar a lo presentado en los esquemas siguientes. Por ello, el viento sobre la estructura es analizado en **tres direcciones** respecto a sus caras (Normal/0°, 60° y 90°).

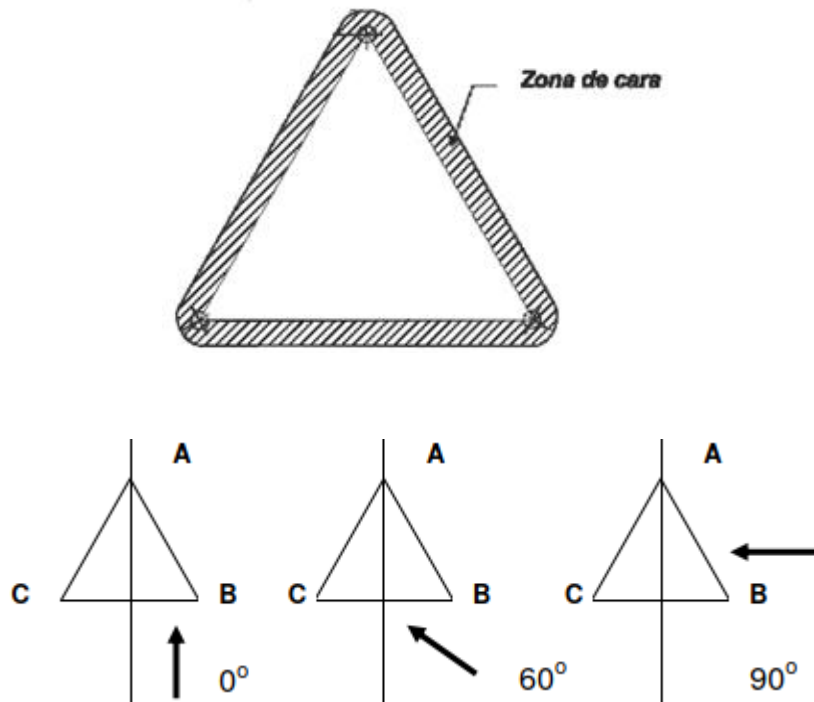


Figura 4.4. – Esquema de las direcciones del viento consideradas.

En resumen, la carga de diseño final resulta:

$$F_W = F_{ST} + F_A + F_G$$

Siendo:

F_{ST} = Fuerza de viento de diseño sobre la estructura

F_A = Fuerza de viento de diseño sobre los accesorios

F_G = Fuerza de viento de diseño sobre las riendas

4.7.4. VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA

La fuerza de viento de diseño, F_{ST} , aplicada a cada sección de la estructura se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_{ST} = q_z * G_h * (EPA)_S$$

Siendo:

F_{ST} = Fuerza de viento de diseño horizontal sobre la estructura en la dirección del viento.

q_z = presión dinámica

G_h = factor de ráfaga

$(EPA)_S$ = área proyectada efectiva de la estructura

Área proyectada efectiva de estructuras reticuladas $(EPA)_S$

Según el artículo 2.6.9.1.1 el área proyectada efectiva de los componentes estructurales de una sección, se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$(EPA)_S = C_f * [D_f * \sum A_f + D_r * \sum (A_r * R_r)]$$

Siendo:

$C_f = 3,4 * \varepsilon^2 - 4,7 * \varepsilon + 3,4$ (para secciones transversales triangulares)

$\varepsilon = (A_f + A_r) / A_g$ (relación de solidez)

A_g = el área bruta de una cara como si dicha cara fuese sólida.

A_f = el área proyectada de los componentes estructurales planos en una cara de la sección.

D_f = factor de dirección del viento para componentes estructurales planos, según tabla.

A_r = el área proyectada de los componentes estructurales circulares en una cara de la sección.

D_r = factor de dirección del viento para componentes estructurales circulares, según tabla.

R_r = factor de reducción para elemento circular.

Criterios de cálculo:

- Al tratarse de una estructura con secciones planas, las fórmulas se simplifican quitando de las mismas las variables relativas a componentes circulares.
- De manera conservadora, no se considera el “reparo” que podrían ofrecerse entre los elementos estructurales.

A continuación, se presentan las tablas de cálculo de viento sobre la estructura en las distintas direcciones:

Fuerzas en la torre 0° a las caras								
Tramo	qz	Ag	N° Diag.	Af	ϵ	Cf	(EPA)_S	Fst
	[N/m ²]	[cm ²]		[cm ²]			[cm ²]	[kN]
0 a 1,6	896,86	8800	4	5152	0,59	1,81	9344,38	0,71
1,6 a 6	896,86	48400	8	12008	0,25	2,44	29338,12	2,24
6 a 12	1036,40	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	3,46
12 a 18	1154,07	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	3,85
18 a 24	1238,79	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	4,14
24 a 30	1306,09	66000	20	20520	0,31	2,27	46526,77	5,17
30 a 36	1362,45	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	4,55
36 a 42	1411,22	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	4,71
42 a 48	1454,38	66000	10	15960	0,24	2,46	39297,88	4,86
48 a 54	1493,22	66000	10	14160	0,21	2,55	36081,63	4,58
54 a 60	1528,59	66000	10	14160	0,21	2,55	36081,63	4,69
60 a 66	1561,14	66000	10	14160	0,21	2,55	36081,63	4,79
66 a 72	1591,33	66000	20	18720	0,28	2,34	43812,99	5,93
72 a 78	1619,51	66000	20	18720	0,28	2,34	43812,99	6,03
78 a 84	1645,97	66000	10	14160	0,21	2,55	36081,63	5,05
84 a 90	1670,91	66000	20	20160	0,31	2,28	45996,90	6,53

Tabla 4.9. – Fuerzas en la torre 0° a las caras.

Fuerzas en la torre 60° a las caras								
Tramo	qz	Ag	N° Diag.	Af	ϵ	Cf	(EPA)_S	Fst
	[N/m ²]	[cm ²]		[cm ²]			[cm ²]	[kN]
0 a 1,6	896,86	8800	4	5152	0,59	1,81	7475,50	0,57
1,6 a 6	896,86	48400	8	12008	0,25	2,44	23470,50	1,79
6 a 12	1036,40	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	2,77
12 a 18	1154,07	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	3,08
18 a 24	1238,79	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	3,31
24 a 30	1306,09	66000	20	20520	0,31	2,27	37221,42	4,13
30 a 36	1362,45	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	3,64
36 a 42	1411,22	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	3,77
42 a 48	1454,38	66000	10	15960	0,24	2,46	31438,30	3,89
48 a 54	1493,22	66000	10	14160	0,21	2,55	28865,30	3,66
54 a 60	1528,59	66000	10	14160	0,21	2,55	28865,30	3,75
60 a 66	1561,14	66000	10	14160	0,21	2,55	28865,30	3,83
66 a 72	1591,33	66000	20	18720	0,28	2,34	35050,39	4,74
72 a 78	1619,51	66000	20	18720	0,28	2,34	35050,39	4,82
78 a 84	1645,97	66000	10	14160	0,21	2,55	28865,30	4,04
84 a 90	1670,91	66000	20	20160	0,31	2,28	36797,52	5,23

Tabla 4.10. – Fuerzas en la torre 60° a las caras.

Fuerzas en la torre 90° a las caras								
Tramo	qz	Ag	N° Diag.	Af	ε	Cf	(EPA)_S	Fst
	[N/m²]	[cm²]		[cm²]			[cm²]	[kN]
0 a 1,6	896,86	8800	4	5152	0,59	1,81	7942,72	0,61
1,6 a 6	896,86	48400	8	12008	0,25	2,44	24937,40	1,90
6 a 12	1036,40	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	2,94
12 a 18	1154,07	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	3,28
18 a 24	1238,79	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	3,52
24 a 30	1306,09	66000	20	20520	0,31	2,27	39547,75	4,39
30 a 36	1362,45	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	3,87
36 a 42	1411,22	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	4,01
42 a 48	1454,38	66000	10	15960	0,24	2,46	33403,20	4,13
48 a 54	1493,22	66000	10	14160	0,21	2,55	30669,38	3,89
54 a 60	1528,59	66000	10	14160	0,21	2,55	30669,38	3,98
60 a 66	1561,14	66000	10	14160	0,21	2,55	30669,38	4,07
66 a 72	1591,33	66000	20	18720	0,28	2,34	37241,04	5,04
72 a 78	1619,51	66000	20	18720	0,28	2,34	37241,04	5,13
78 a 84	1645,97	66000	10	14160	0,21	2,55	30669,38	4,29
84 a 90	1670,91	66000	20	20160	0,31	2,28	39097,36	5,55

Tabla 4.11. – Fuerzas en la torre 90° a las caras.

4.7.5. VIENTO SOBRE ACCESORIOS

4.7.5.1. INTRODUCCIÓN

Las fuerzas de viento de diseño sobre accesorios (ya sean puntuales o lineales, pero excluyendo antenas de microondas), F_A , se debe determinar mediante la siguiente expresión:

$$F_A = q_z * G_h * (EPA)_A$$

Siendo:

F_A = Fuerza de viento de diseño horizontal sobre los accesorios.

q_z = la presión dinámica a la altura del eje baricéntrico del accesorio.

G_h = factor de ráfaga.

$(EPA)_S$ = área proyectada efectiva del accesorio.

4.7.5.2. VIENTO SOBRE ANTENAS PANEL Y RRU

Al no contar con información precisa sobre las antenas panel y RRU, se sigue la recomendación del reglamento considerándose a las mismas como superficies planas. Por lo tanto, el área proyectada efectiva resulta de la siguiente fórmula:

$$(EPA)_A = C_a * A_A$$

Siendo:

C_a = Coeficiente de fuerza según tabla.

A_A = el área proyectada de un componente del accesorio.

Tipo de elemento		Relación de aspecto $\leq 2,5$	Relación de aspecto = 7	Relación de aspecto ≥ 25
		C_a	C_a	C_a
Plano		1,2	1,4	2,0
Circular	$C < 4,4$ flujo subcrítico	0,70	0,80	1,2
	$4,4 \leq C \leq 8,7$ flujo transicional	$1,43/(C)^{0,485}$	$1,47/(C)^{0,415}$	$5,23/(C)^{1,0}$
	$C > 8,7$ flujo supercrítico	0,50	0,60	0,60
<p>siendo:</p> $C = (1 K_{z1} K_{z2})^{0,5} (V) (D)$ <p>V la velocidad básica de viento para la condición de carga que se investiga, en m/s. D el diámetro exterior del accesorio, en m.</p> <p>La relación de aspecto es la relación largo/ancho global en el plano normal a la dirección del viento.</p> <p>La relación de aspecto es independiente de la separación entre puntos de soporte de un accesorio lineal, y de la longitud del segmento que se considera que tiene carga de viento uniforme.</p>				
<p>Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> Para accesorios cilíndricos, cuando hay irregularidades tales como bridas, suspensores, etc., las áreas proyectadas efectivas se deben calcular de la siguiente manera: <ol style="list-style-type: none"> Cuando $R_a \leq 0,1$ las áreas proyectadas de las irregularidades se pueden ignorar. Cuando $0,1 < R_a \leq 0,2$ el valor de C_a se debe multiplicar por $1,0 + 3 (R_a - 0,1)$, y las áreas proyectadas de las irregularidades se pueden ignorar. Cuando $R_a > 0,2$ o alternativamente para cualquier valor de R_a, se debe usar el valor de C_a para flujo subcrítico. Las áreas proyectadas de las irregularidades se deben considerar separadamente además del accesorio usando coeficientes de fuerza apropiados. <p>R_a es la relación entre el área proyectada de las irregularidades (perpendicular a la dirección del viento) y el área proyectada del accesorio sin las irregularidades para la porción considerada. Para condiciones con hielo, no es necesario considerar el espesor del hielo en la determinación de R_a.</p> Para accesorios planos, cuando hay irregularidades tales como bridas, suspensores, etc., las áreas proyectadas de las irregularidades se deben considerar separadamente además del accesorio usando coeficientes de fuerza apropiados, excepto cuando $R_a \leq 0,1$, en cuyo caso las áreas proyectadas de la irregularidades se pueden ignorar. Para condiciones de hielo, C_a se debe basar en el flujo subcrítico para todos los valores de C. Para relaciones de aspecto diferentes a las indicadas, se puede interpolar linealmente. Los coeficientes de fuerza para flujo subcrítico, se pueden usar de manera conservadora, para cualquier valor de C. 				

Tabla 4.12. – Coeficientes de fuerza para accesorios.

Características Antenas tipo Panel							
Antena N°	Nivel	Cantidad	Alto	Ancho	Gh	Relación de aspecto	Superficie expuesta
	[m]		[m]	[m]			[m ²]
1	70,00	3	2,00	0,35	0,85	5,71	0,70

Tabla 4.13. – Características de antenas tipo panel.

Características Antenas tipo RRU							
Antena N°	Nivel	Cantidad	Lado mayor	Lado menor	Gh	Relación de aspecto	Superficie expuesta
	[m]		[m]	[m]			[m ²]
1	67,50	1	0,55	0,50	0,85	1,10	0,28
2	70,00	2	0,58	0,32	0,85	1,81	0,19
3	70,00	2	0,51	0,31	0,85	1,65	0,16

Tabla 4.14. - Características de antenas tipo RRU.

Criterios de cálculo:

De manera simplificada y conservadora, se tomaron los siguientes criterios para el cálculo de estos accesorios:

- Se considera que en la posición de cada antena panel (cada 120°) coexisten 3 antenas RRU (1 de cada tipo y tamaño), que aumentan el área proyectada total.
- Se unifican los coeficientes de fuerzas (Ca) en un único valor igual a 1,40.
- Se calcula un único valor de fuerza FA, normal a la superficie de la antena, aplicándose el mismo para todas las direcciones del viento y para cada cara de la torre.

Fuerzas en Antenas Panel y RRU						
Tramo	Cara	qz	Coficiente de fuerza (Ca)	Área proyectada accesorio (AA)	Área proyectada efectiva (EPA)	FA
[m]		[N/m ²]		[cm ²]	[cm ²]	[kN]
66 a 72	A	1591,33	1,40	13187	19780,5	2,68
	B		1,40	13187	19780,5	2,68
	C		1,40	13187	19780,5	2,68

Tabla 4.15. – Fuerzas sobre antenas panel y RRU.

4.7.5.3. VIENTO SOBRE ANTENAS MICROONDAS

Las fuerzas de viento actuantes en este tipo de antenas, por la forma particular que presentan, tiene un apartado específico en el reglamento CIRSOC 306. Los datos de fuerza de viento se refieren al sistema de ejes de la antena cuyo origen coincide con el vértice del reflector.

La fuerza axial o normal, F_{AM} , actúa a lo largo del eje de la antena. La fuerza lateral, F_{SM} , actúa perpendicular al eje de la antena en el plano formado por el eje de la antena y el vector del viento.

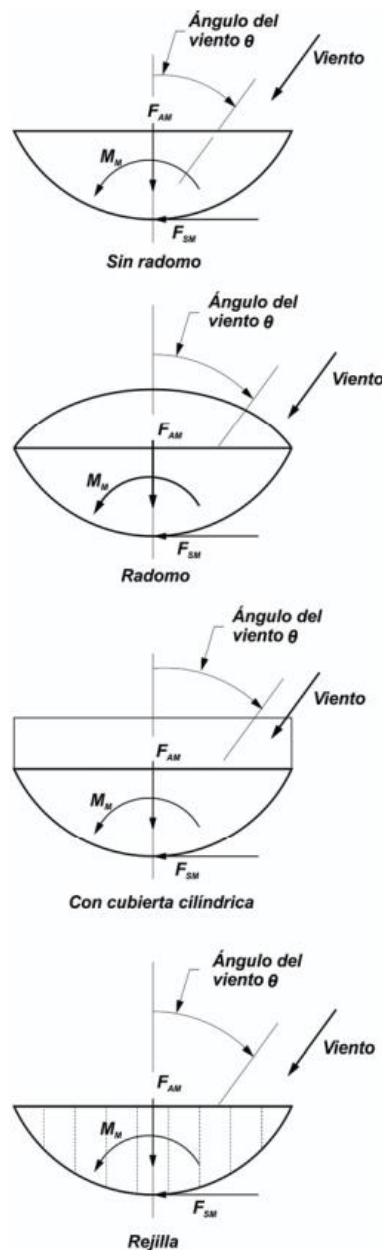


Figura 4.5. – Tipos de antenas microondas.

En todos los casos, las magnitudes de F_{AM} y F_{SM} dependen de la presión dinámica del viento, del área frontal proyectada de la antena y de las características aerodinámicas del cuerpo de la antena. Las características aerodinámicas varían con el ángulo del viento.

Los valores de FAM y FSM se determinan a partir de las siguientes expresiones:

$$FAM = q_z * G_h * C_A * A$$

$$FSM = q_z * G_h * C_S * A$$

Siendo:

q_z = presión dinámica en el vértice de la antena.

G_h = factor de efecto de ráfaga.

C_A, C_S = coeficientes contenidos en las Tablas C.1. a C.4. en función del ángulo de incidencia del viento θ .

θ = ángulo de incidencia del viento, para convención de signo positivo.

A = área de la apertura exterior de una antena de microondas.

D = diámetro exterior de una antena de microondas.

En la siguiente tabla se agrupa la información de cada antena microondas, necesaria para calcular las fuerzas de viento sobre las mismas.

Características Antenas tipo Microondas					
Antena N°	Nivel	Tipo	Diámetro	Gh	Azimet
	[m]		[m]		[°]
1	49,50	Con cubierta cilíndrica	1,20	0,85	210
2	59,00	Con cubierta cilíndrica	1,80	0,85	100

Tabla 4.16. – Características de antenas tipo microondas.

La tabla de coeficientes de fuerza se define en función del tipo de antena presente en la torre. En caso de requerirse coeficientes que correspondan ángulos intermedios, se realiza una interpolación lineal.

Criterios de cálculo:

Para obtener el ángulo de incidencia del viento sobre la antena, se hace la diferencia entre el ángulo del viento (respecto del norte) sobre las caras de la torre con el ángulo del vector normal saliente de cada antena. De resultar negativo, se le suma 360° al resultado para ingresar a la tabla. De modo de facilitar el procedimiento citado, se confecciona el siguiente esquema de ángulos.

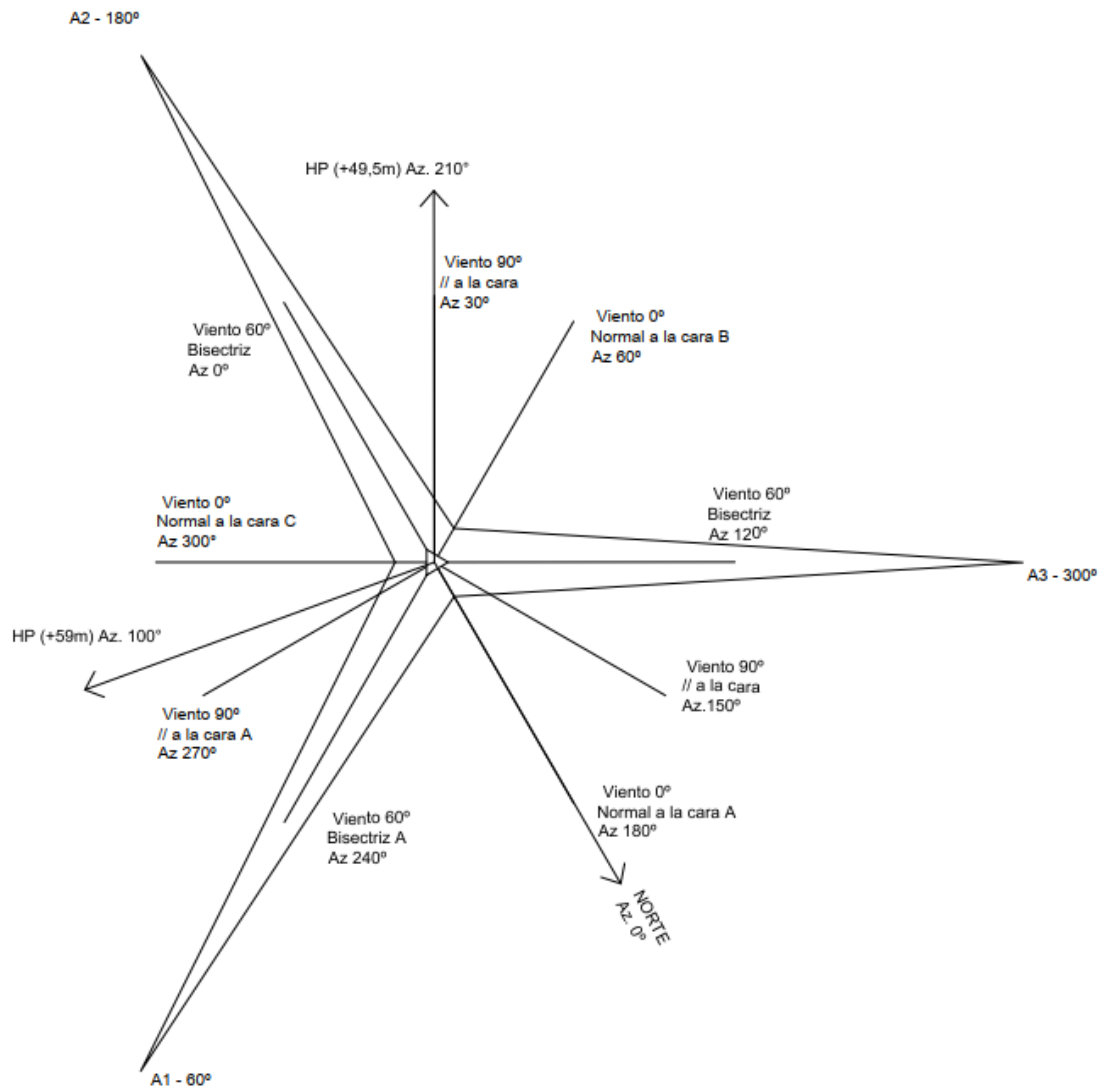


Figura 4.6. – Esquema para medición de ángulos.

Para el tipo de antena considero, la tabla de coeficientes que se utiliza es:

Ángulo de viento θ (grados)	C_A	C_S
0	1,2617	0,0000
10	1,2617	0,0977
20	1,2500	0,1758
30	1,2109	0,2344
40	1,1563	0,2813
50	1,0859	0,3047
60	0,9453	0,3672
70	0,6719	0,4766
80	0,2734	0,5820
90	-0,1094	0,6250
100	-0,3438	0,6016
110	-0,5391	0,5313
120	-0,7109	0,4375
130	-0,8594	0,3125
140	-0,9336	0,2305
150	-0,9570	0,1758
160	-0,9727	0,1484
170	-0,9961	0,0977
180	-1,0156	0,0000
190	-0,9961	-0,0977
200	-0,9727	-0,1484
210	-0,9570	-0,1758
220	-0,9336	-0,2305
230	-0,8594	-0,3125
240	-0,7109	-0,4375
250	-0,5391	-0,5313
260	-0,3438	-0,6016
270	-0,1094	-0,6250
280	0,2734	-0,5820
290	0,6719	-0,4766
300	0,9453	-0,3672
310	1,0859	-0,3047
320	1,1563	-0,2813
330	1,2109	-0,2344
340	1,2500	-0,1758
350	1,2617	-0,0977

Tabla 4.17. – Coeficientes de fuerzas para antenas tipo microondas con cubierta cilíndrica.

Por último, el área de apertura exterior se calcula como:

$$A = \frac{\pi * Diámetro^2}{4}$$

Fuerzas en Antena Microondas - 0° respecto a las caras					
Tramo	Cara	qz	Ángulo de viento respecto del norte	Ángulo de viento respecto vector normal antena	Coefficiente de fuerza (Ca)
[m]		[N/m ²]	[°]	[°]	
48 a 54	A	1493,22	180	330	1,21
	B		60	210	-0,96
	C		300	90	-0,11
54 a 60	A	1528,59	180	80	0,27
	B		60	320	1,16
	C		300	200	-0,97

Tabla 4.18. – Fuerzas en antenas microondas (0° respecto a las caras) (1).

Fuerzas en Antena Microondas - 0° respecto a las caras					
Tramo	Cara	Coefficiente de fuerza (Cs)	Área de apertura externa de Antena (A)	Fuerza normal (FAM)	Fuerza lateral (FSM)
[m]			[cm ²]	[kN]	[kN]
48 a 54	A	-0,23	11309,73	1,74	-0,34
	B	-0,18	11309,73	-1,37	-0,25
	C	0,63	11309,73	-0,16	0,90
54 a 60	A	0,58	25446,90	0,90	1,92
	B	-0,28	25446,90	3,82	-0,93
	C	-0,15	25446,90	-3,22	-0,49

Tabla 4.19. – Fuerzas en antenas microondas (0° respecto a las caras) (2).

Fuerzas en Antena Microondas - 60° respecto a las caras					
Tramo	Cara	qz	Ángulo de viento respecto del norte	Ángulo de viento respecto vector normal antena	Coefficiente de fuerza (Ca)
[m]		[N/m ²]	[°]	[°]	
48 a 54	A	1493,22	240	30	1,21
	B		120	270	-0,11
	C		0	150	-0,96
54 a 60	A	1528,59	240	140	-0,93
	B		120	20	1,25
	C		0	260	-0,34

Tabla 4.20. – Fuerzas en antenas microondas (60° respecto a las caras) (1).

Fuerzas en Antena Microondas - 60° respecto a las caras					
Tramo	Cara	Coefficiente de fuerza (Cs)	Área de apertura externa de Antena (A)	Fuerza normal (FAM)	Fuerza lateral (FSM)
[m]			[cm ²]	[kN]	[kN]
48 a 54	A	0,23	11309,73	1,74	0,34
	B	-0,63	11309,73	-0,16	-0,90
	C	0,18	11309,73	-1,37	0,25
54 a 60	A	0,23	25446,90	-3,09	0,76
	B	0,18	25446,90	4,13	0,58
	C	-0,60	25446,90	-1,14	-1,99

Tabla 4.21. – Fuerzas en antenas microondas (60° respecto a las caras) (2).

Fuerzas en Antena Microondas - 90° respecto a las caras					
Tramo	Cara	qz	Ángulo de viento respecto del norte	Ángulo de viento respecto vector normal antena	Coefficiente de fuerza (Ca)
[m]		[N/m ²]	[°]	[°]	
48 a 54	A	1493,22	270	60	0,95
	B		150	300	0,95
	C		30	180	-1,02
54 a 60	A	1528,59	270	170	-1,00
	B		150	50	1,09
	C		30	290	0,67

Tabla 4.22. – Fuerzas en antenas microondas (90° respecto a las caras) (1).

Fuerzas en Antena Microondas - 90° respecto a las caras					
Tramo	Cara	Coefficiente de fuerza (Cs)	Área de apertura externa de Antena (A)	Fuerza normal (FAM)	Fuerza lateral (FSM)
[m]			[cm ²]	[kN]	[kN]
48 a 54	A	0,37	11309,73	1,36	0,53
	B	-0,37	11309,73	1,36	-0,53
	C	0,00	11309,73	-1,46	0,00
54 a 60	A	0,10	25446,90	-3,29	0,32
	B	0,30	25446,90	3,59	1,01
	C	-0,48	25446,90	2,22	-1,58

Tabla 4.23. – Fuerzas en antenas microondas (90° respecto a las caras) (2).

4.7.5.4. VIENTO SOBRE GUÍAS DE ONDA Y ESCALERA DE SERVICIO

Estas fuerzas se calculan mediante el mismo procedimiento utilizado para antenas panel y RRU. En ausencia de información detallada sobre estos accesorios, se toman los siguientes criterios para el cálculo.

Criterios de cálculo:

De manera simplificada y conservadora, se tomaron los siguientes criterios para el cálculo de estos accesorios:

- De forma promedio y en función de la tabla de coeficientes que se menciona en apartados anteriores, se considera un $C_a = 1,70$.
- De acuerdo a la cantidad de antenas (mas antenas, más cables) y con información recabada de antecedentes de torres s similares, se estima un área proyectada de $0,09 \text{ m}^2/\text{m}$ para las guías de onda.
- En base a fotografías de la torre en cuestión e información recabada de antecedentes de torres similares, se estima un área proyectada de escalera de $0,05 \text{ m}^2/\text{m}$.
- Se calcula un único valor de fuerza FA, normal a la superficie de los accesorios en cuestión, aplicándose el mismo para todas las direcciones del viento y para cada cara de la torre.

Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda					
Tramo	Altura media del tramo	Presión dinámica (qz)	Coefficiente de fuerza promedio (Ca)	Área proyectada guías de onda (Agh)	Área proyectada escalera (Ae)
[m]	[m]	[N/m ²]	[Ad.]	[m ² /m]	[m ² /m]
0 a 1,6	0,8	896,86	1,70	0,09	0,05
1,6 a 6	3,8	896,86	1,70	0,09	0,05
6 a 12	9	1036,40	1,70	0,09	0,05
12 a 18	15	1154,07	1,70	0,09	0,05
18 a 24	21	1238,79	1,70	0,09	0,05
24 a 30	27	1306,09	1,70	0,09	0,05
30 a 36	33	1362,45	1,70	0,09	0,05
36 a 42	39	1411,22	1,70	0,09	0,05
42 a 48	45	1454,38	1,70	0,09	0,05
48 a 54	51	1493,22	1,70	0,09	0,05
54 a 60	57	1528,59	1,70	0,09	0,05
60 a 66	63	1561,14	1,70	0,09	0,05
66 a 72	69	1591,33	1,70	0,09	0,05
72 a 78	75	1619,51	1,70	0,09	0,05
78 a 84	81	1645,97	1,70	0,09	0,05
84 a 90	87	1670,91	1,70	0,09	0,05

Tabla 4.24. – Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda (1).

Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda					
Tramo	Altura media del tramo	Presión dinámica (qz)	Área proyectada total (A)	Área proyectada efectiva (EPA)	FA
[m]	[m]	[N/m ²]	[m ² /m]	[m ² /m]	[kN/m]
0 a 1,6	0,8	896,86	0,14	0,24	0,21
1,6 a 6	3,8	896,86	0,14	0,24	0,21
6 a 12	9	1036,40	0,14	0,24	0,25
12 a 18	15	1154,07	0,14	0,24	0,27
18 a 24	21	1238,79	0,14	0,24	0,29
24 a 30	27	1306,09	0,14	0,24	0,31
30 a 36	33	1362,45	0,14	0,24	0,32
36 a 42	39	1411,22	0,14	0,24	0,34
42 a 48	45	1454,38	0,14	0,24	0,35
48 a 54	51	1493,22	0,14	0,24	0,36
54 a 60	57	1528,59	0,14	0,24	0,36
60 a 66	63	1561,14	0,14	0,24	0,37
66 a 72	69	1591,33	0,14	0,24	0,38
72 a 78	75	1619,51	0,14	0,24	0,39
78 a 84	81	1645,97	0,14	0,24	0,39
84 a 90	87	1670,91	0,14	0,24	0,40

Tabla 4.25. – Fuerzas de viento sobre escalera de servicio y guías de onda (2).

4.7.5.5. VIENTO SOBRE ESTRELLAS

Estas fuerzas se calculan mediante el mismo procedimiento utilizado para antenas panel y RRU. En ausencia de información detallada sobre estos accesorios, se toman los siguientes criterios para el cálculo.

Criterios de cálculo:

De manera simplificada y conservadora, se tomaron los siguientes criterios para el cálculo de estos accesorios:

- En función de la tabla de coeficientes que se menciona en apartados anteriores, se considera un $C_a = 2$, ya que por las dimensiones de las estrellas antirotoras se estima una relación de aspecto >25 .
- El área bruta se estima considerando que, cuándo el viento impacta normal a cada cara de la torre, en los brazos de las estrellas lo hace con un ángulo de 30° .
- Se calcula un único valor de fuerza FA, normal a la superficie de las estrellas antirotoras, aplicándose el mismo para todas las direcciones del viento y para cada cara de la torre.

Características de las estrellas antirotoras				
Estrella N°	Nivel	Brazo	Alto	Ancho sección (Perfil L)
	[m]	[m]	[m]	[mm]
1	73,00	1,60	1,20	7,6
2	85,00	1,60	1,20	7,6

Tabla 4.26. – Características de las estrellas antirotoras.

Fuerzas en Estrellas				
Tramo	Altura media del tramo	qz	Área bruta	Relación de aspecto
[m]	[m]	[N/m2]	[cm²]	
72 a 78	75	1619,51	8424,70	>=25
84 a 90	87	1670,91	8424,70	>=25

Tabla 4.27. – Fuerzas de viento sobre las estrellas (1).

Fuerzas en Estrellas				
Tramo	Altura media del tramo	Coficiente de fuerza (Ca)	(EPA)_A	Fst
[m]	[m]		[cm²]	[kN]
72 a 78	75	2,00	16849,39	2,32
84 a 90	87	2,00	16849,39	2,39

Tabla 4.28. – Fuerzas de viento sobre las estrellas (2).

4.7.6. VIENTO SOBRE RIENDAS

Según el artículo 2.6.9.3 de la norma, la fuerza del viento de diseño sobre las riendas, F_G , se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_G = C_d * d * L_G * G_n * q_z * \text{sen}^2 \theta_g$$

Siendo:

F_G = fuerza aplicada, normal a la cuerda de la rienda, en el plano que contiene a la cuerda de la rienda y al viento.

C_d = coeficiente de arrastre para riendas. $C_d = 1,2$.

d = diámetro de la rienda.

L_G = longitud de la rienda.

G_h = factor de efecto de ráfaga.

q_z = presión dinámica a la altura media de la rienda.

θ_g = ángulo verdadero de incidencia del viento respecto de la cuerda de la rienda.

En la siguiente figura del reglamento se esquematiza la acción del viento sobre las riendas:

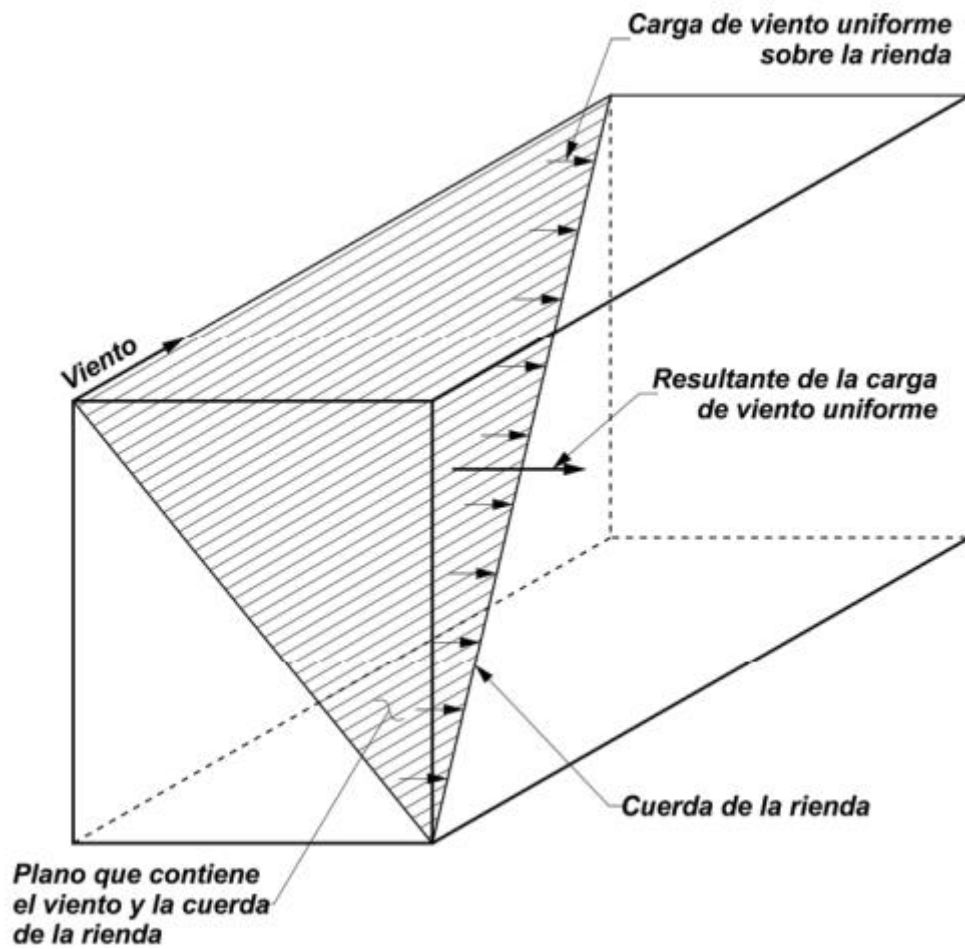


Figura 4.7. – Esquema de la acción del viento sobre las riendas (1).

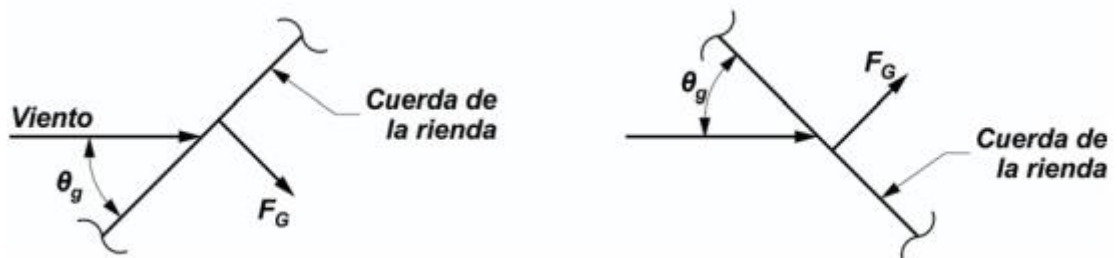


Figura 4.8. – Esquema de la acción del viento sobre las riendas (2).

En lo siguiente, se presentan las tablas de cálculo para las fuerzas de viento sobre riendas:

Datos generales de las riendas				
Nivel de Rienda	Cota de cinturón/estrella	Cantidad de cables por nivel	Diámetro del cable (d)	Sección metálica
	[m]		[mm]	[mm ²]
1	13,50	1	7,50	34,37
2	28,50	1	12,50	93,12
3	40,50	1	12,50	93,12
4	57,50	1	16,00	152,57
5	73,00	2	16,00	152,57
6	85,00	2	19,00	215,50

Tabla 4.29. – Datos generales de las riendas (1).

Datos generales de las riendas				
Nivel de rienda	Diámetro de cálculo	Tensión media de tesado inicial	Tracción del cable	Altura media de la rienda (z)
	[mm]	[kN/cm ²]	[kN]	[m]
1	6,62	9,00	3,0933	6,75
2	10,89	9,00	8,3808	14,25
3	10,89	9,00	8,3808	20,25
4	13,94	9,00	13,7313	28,75
5	13,94	9,00	13,7313	36,50
6	16,56	9,00	19,395	42,50

Tabla 4.29. – Datos generales de las riendas (2).

Datos generales de las riendas				
Nivel de rienda	Kz	Presión dinámica a la altura media	Coefficiente de arrastre para riendas	Factor de efecto ráfaga
		[N/m ²]		
1	0,92	975,49	1,20	0,85
2	1,08	1141,68	1,20	0,85
3	1,17	1229,34	1,20	0,85
4	1,25	1323,48	1,20	0,85
5	1,32	1391,68	1,20	0,85
6	1,36	1436,99	1,20	0,85

Tabla 4.30. – Datos generales de las riendas (3).

Fuerzas de viento en la dirección normal a las caras:

Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento Normal a la cara A		Viento Normal a la cara B		Viento Normal a la cara C	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A1	60	1	60	0,0056	0	0	60	0,0056
		2		0,0109		0		0,0109
		3		0,0118		0		0,0118
		4		0,0162		0		0,0162
		5		0,0170		0		0,0170
		6		0,0209		0		0,0209
A2	180	1	0	0	60	0,0056	60	0,0056
		2		0		0,0109		0,0109
		3		0		0,0118		0,0118
		4		0		0,0162		0,0162
		5		0		0,0170		0,0170
		6		0		0,0209		0,0209
A3	300	1	0	0	60	0,0056	60	0,0056
		2		0		0,0109		0,0109
		3		0		0,0118		0,0118
		4		0		0,0162		0,0162
		5		0		0,0170		0,0170
		6		0		0,0209		0,0209

Tabla 4.31. – Fuerzas de viento sobre riendas (0° respecto a las caras).

Fuerzas de viento en la dirección 60° a las caras:

Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 60° a la cara A		Viento 60° a la cara B		Viento 60° a la cara B	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A1	60	1	0	0,0000	120	0,0056	120	0,0056
		2		0,0000		0,0109		0,0109
		3		0,0000		0,0118		0,0118
		4		0,0000		0,0162		0,0162
		5		0,0000		0,0170		0,0170
		6		0,0000		0,0209		0,0209
Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 60° a la cara A		Viento 60° a la cara B		Viento 60° a la cara C	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A2	180	1	120	0,0056	120	0,0056	0	0,0000
		2		0,0109		0,0109		0,0000
		3		0,0118		0,0118		0,0000
		4		0,0162		0,0162		0,0000
		5		0,0170		0,0170		0,0000
		6		0,0209		0,0209		0,0000
Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 60° a la cara A		Viento 60° a la cara B		Viento 60° a la cara C	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A3	300	1	120	0,0056	120	0,0056	0	0,0000
		2		0,0109		0,0109		0,0000
		3		0,0118		0,0118		0,0000
		4		0,0162		0,0162		0,0000
		5		0,0170		0,0170		0,0000
		6		0,0209		0,0209		0,0000

Tabla 4.32. – Fuerzas de viento sobre riendas (60° respecto a las caras).

Fuerzas de viento en la dirección 90° a las caras:

Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 90° a la cara A		Viento 90° a la cara B		Viento 90° a la cara B	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A1	60	1	30	0,0019	90	0,0075	150	0,0019
		2		0,0036		0,0146		0,0036
		3		0,0039		0,0157		0,0039
		4		0,0054		0,0216		0,0054
		5		0,0057		0,0227		0,0057
		6		0,0070		0,0278		0,0070
Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 90° a la cara A		Viento 90° a la cara B		Viento 90° a la cara C	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A2	180	1	90	0,0075	150	0,0019	30	0,0019
		2		0,0146		0,0036		0,0036
		3		0,0157		0,0039		0,0039
		4		0,0216		0,0054		0,0054
		5		0,0227		0,0057		0,0057
		6		0,0278		0,0070		0,0070
Anclaje	Azimut	Nivel de rienda	Viento 90° a la cara A		Viento 90° a la cara B		Viento 90° a la cara C	
			θ	Fg	θ	Fg	θ	Fg
	[°]			[kN/m]		[kN/m]		[kN/m]
A3	300	1	90	0,0075	150	0,0019	30	0,0019
		2		0,0146		0,0036		0,0036
		3		0,0157		0,0039		0,0039
		4		0,0216		0,0054		0,0054
		5		0,0227		0,0057		0,0057
		6		0,0278		0,0070		0,0070

Tabla 4.33. – Fuerzas de viento sobre riendas (90° respecto a las caras).

Se observa que en el cálculo no se tiene en cuenta la longitud de las riendas, quedando así las fuerzas por unidad de longitud. Este criterio se toma en función de una cuestión práctica a la hora del modelado.

4.8. COMBINACIONES DE CARGA

4.8.1. ESTADO LÍMITE ÚLTIMO

Las estructuras metálicas destinadas para torres de telecomunicaciones se deberán diseñar de manera tal que su resistencia de diseño sea igual o mayor que los efectos de carga debidos a las cargas mayoradas para cada una de las siguientes combinaciones correspondientes al estado límite:

1. $1,2 D + 1,0 D_g + 1,6 W_o$
2. $0,9 D + 1,0 D_g + 1,6 W_o$
3. $1,2 D + 1,0 D_g + 1,0 D_i + 0,7 W_i + 1,0 T_i$
4. $1,2 D + 1,0 D_g + 1,0 E$
5. $0,9 D + 1,0 D_g + 1,0 E$

Figura 4.9. – Combinaciones de carga para ELU.

Por no presentarse algunos tipos de carga, las combinaciones efectivamente utilizadas para el diseño fueron la “1” y “2”.

4.8.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO

Las cargas de servicio se deberán definir de acuerdo con la siguiente combinación de cargas:

$$1,0 D + 1,0 D_g + 0,7 W_o$$

Figura 4.10. – Combinaciones de carga para ELS.

Las fuerzas de viento horizontales que se utilicen para determinar las cargas de servicio se deberán basar en un factor de importancia I, un factor de direccionalidad, Kd, un coeficiente de presión dinámica, Kz, un factor de ráfaga, Gh, y un factor topográfico, Kzt, iguales a los correspondientes al estado límite de resistencia.

5. MODELO

5.1. GENERALIDADES

El modelo de análisis emplea elementos finitos para la obtención de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones en la estructura; así como también reacciones en apoyos.

Los cordones fueron modelados como elementos tipo barras con continuidad de principio a fin. Las diagonales se idealizaron como “Cerchas sólo N”, es decir que sólo trabajan bajo esfuerzos axiales y no toman flexiones (ni cortantes), y además son biarticulados.

Los tensores se modelaron como elementos tipo “cables”, que trabajan sólo en tracción, y se les asignó la propiedad de “pretensado” (descrita en este documento en un apartado particularmente dedicado).

La siguiente figura permite apreciar lo realizado:

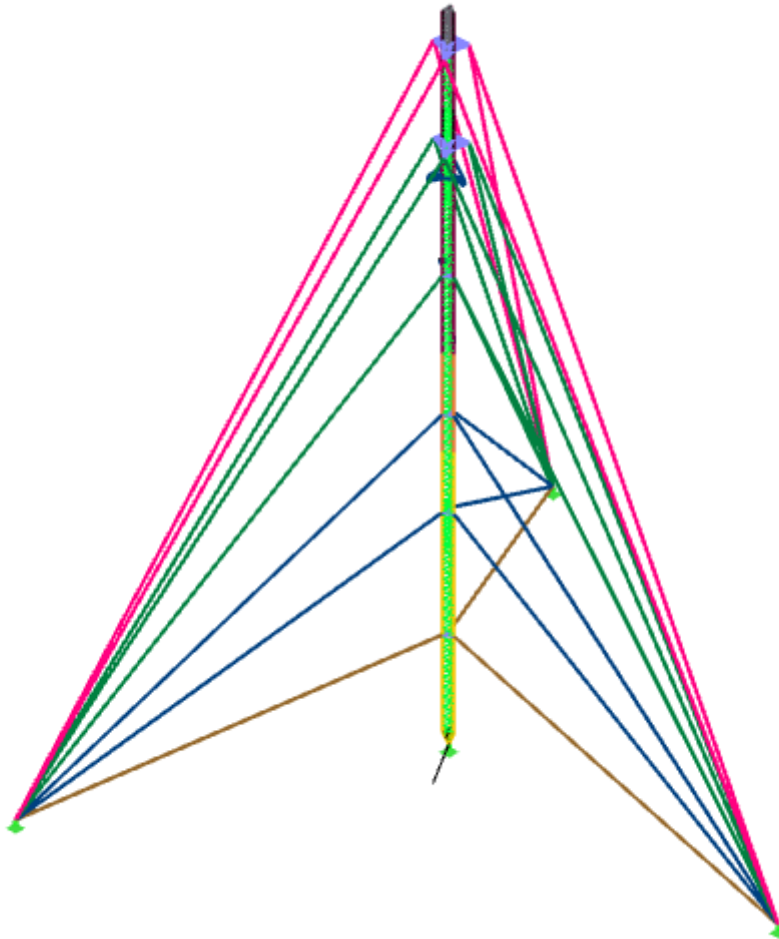


Figura 5.0. – Modelo de la estructura.

5.2. SECCIONES

En este ítem se muestran capturas del software donde se muestran las secciones utilizadas en el modelo, con algunas de sus propiedades más relevantes.

Cordones:

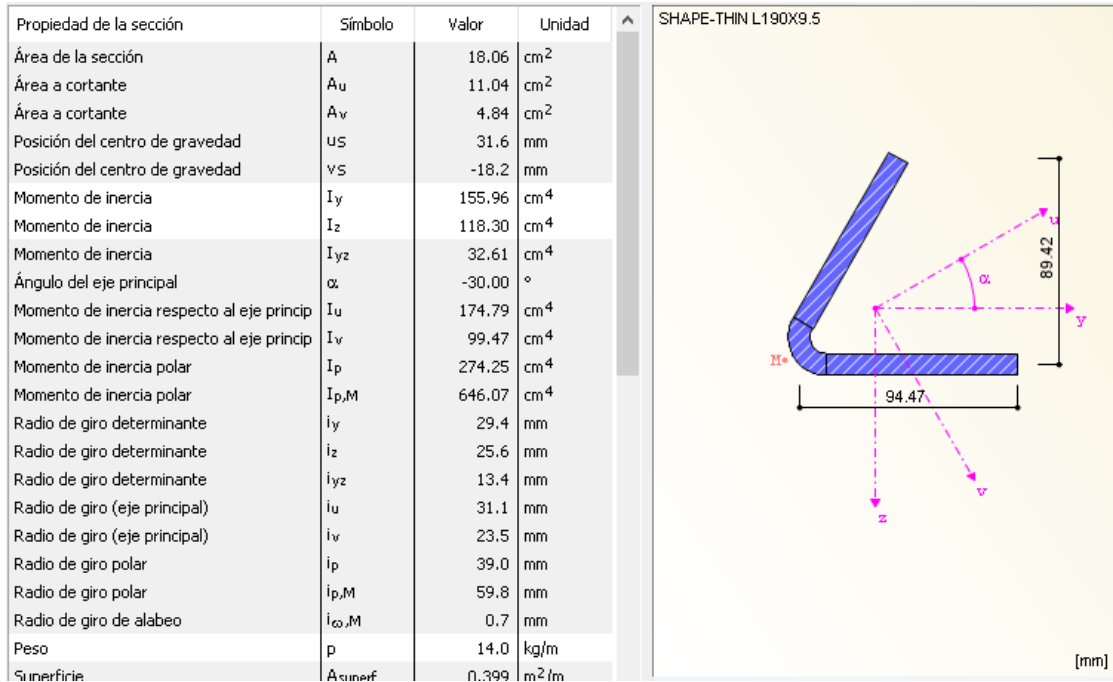


Figura 5.1. – Ejemplo de sección de chapa 60° para cordones.

* Para consultar las distintas secciones utilizadas en cordones dirigirse al ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.

Diagonales:

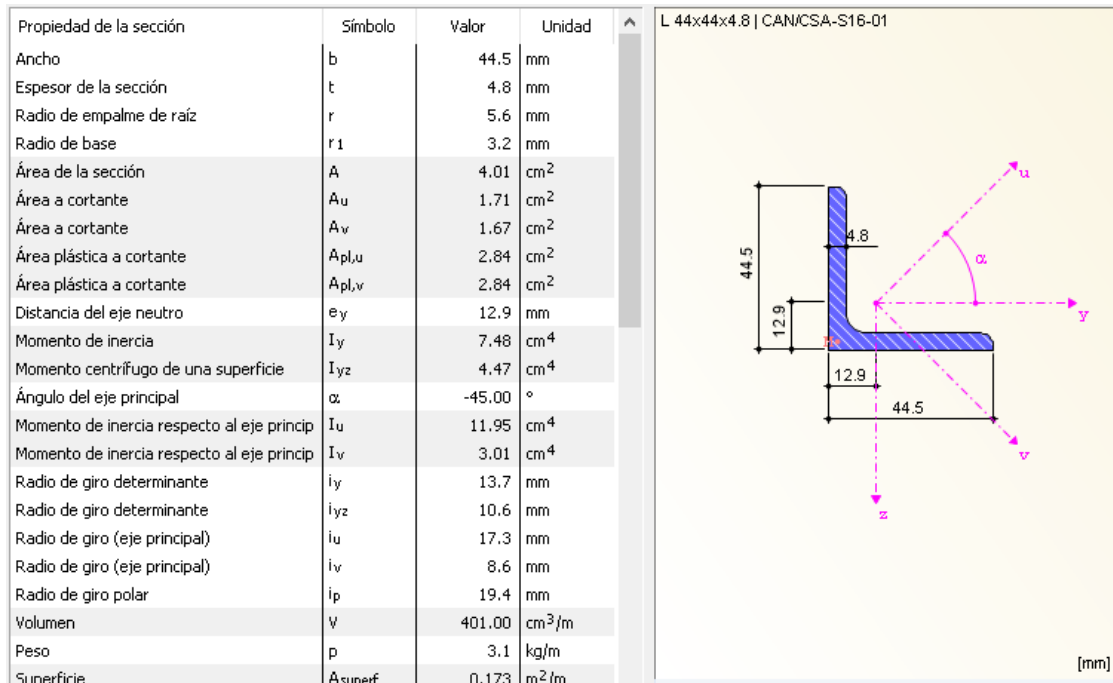


Figura 5.2. – Ejemplo de sección de perfil L para diagonales.

* Para consultar las distintas secciones utilizadas en diagonales dirigirse al ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.

Cinturones y estrellas:

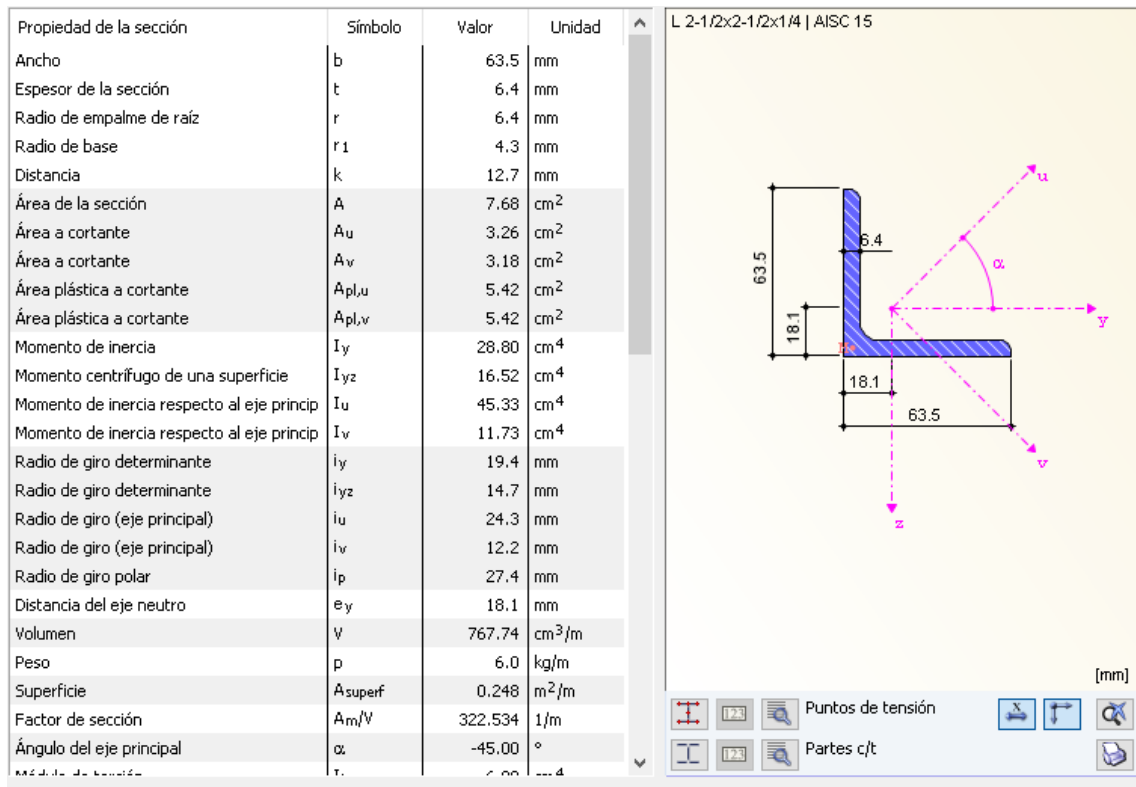


Figura 5.3. – Sección de perfil L para cinturones y estrellas.

Estructuras para soporte de antenas:

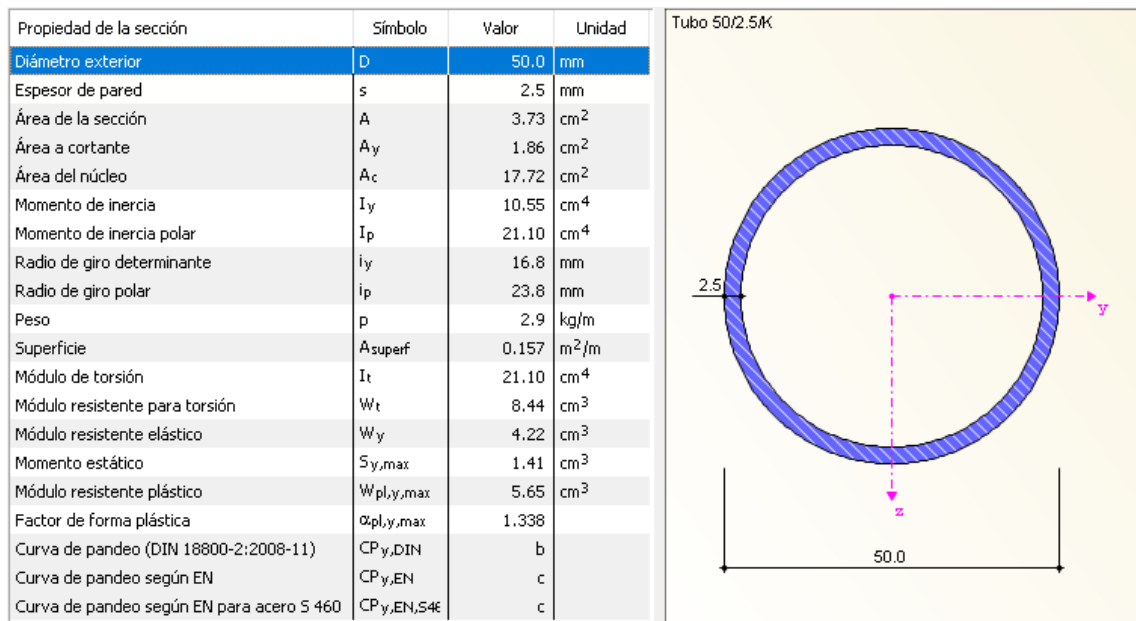


Figura 5.4. – Sección de tubo para soporte de antenas.

Riendas:

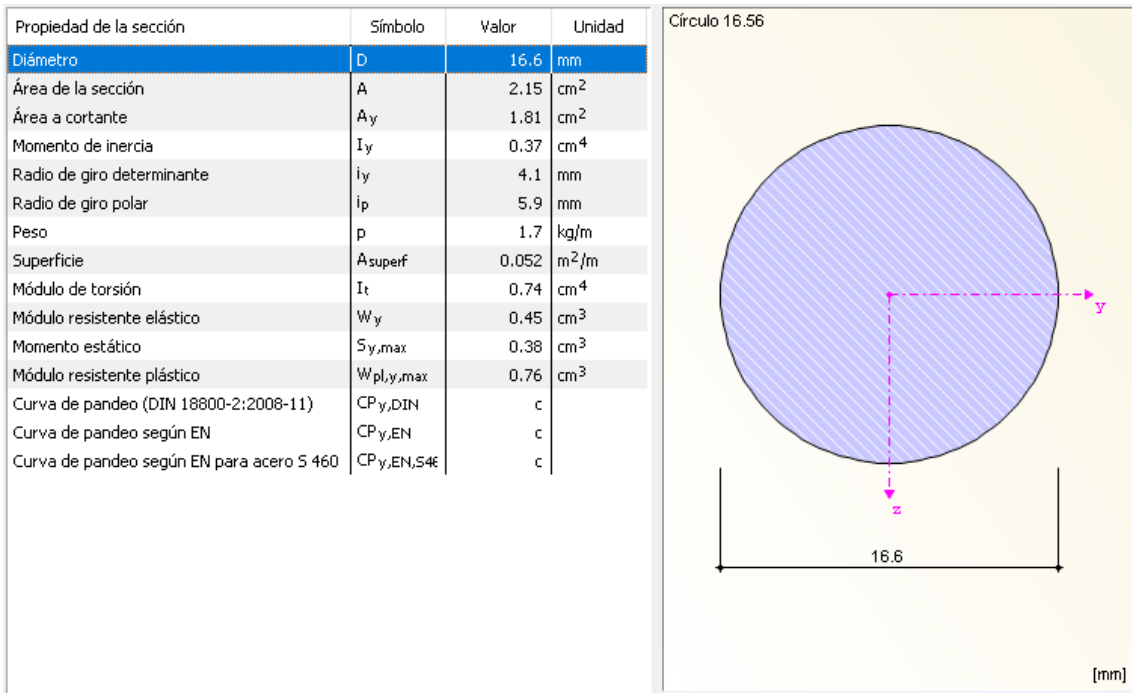


Figura 5.5. – Ejemplo de sección de cable para riendas.

* Para consultar las distintas secciones utilizadas en riendas dirigirse al ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.

5.3. APOYOS

Al no requerirse la verificación sobre los pilotes de fundación, el modelado de los apoyos en los anclajes se ve simplificado. Por ello, dichos apoyos se modelaron como “fijos” (articulados), generando reacciones horizontales y verticales. De igual forma, en el apoyo central, se dispuso un apoyo del tipo “fijo”.

En las siguientes figuras se puede observar lo comentado anteriormente:

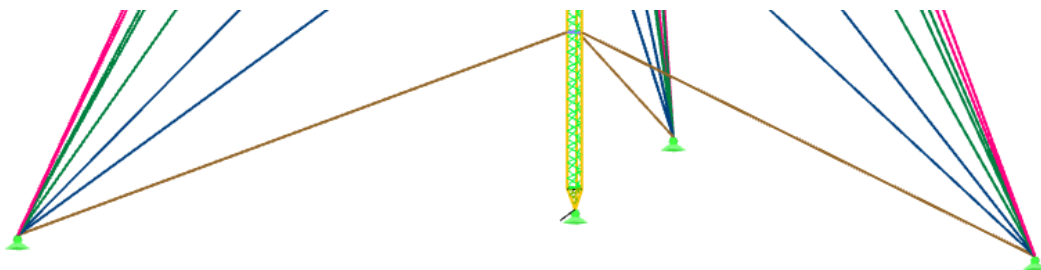


Figura 5.6. – Materialización de apoyos.

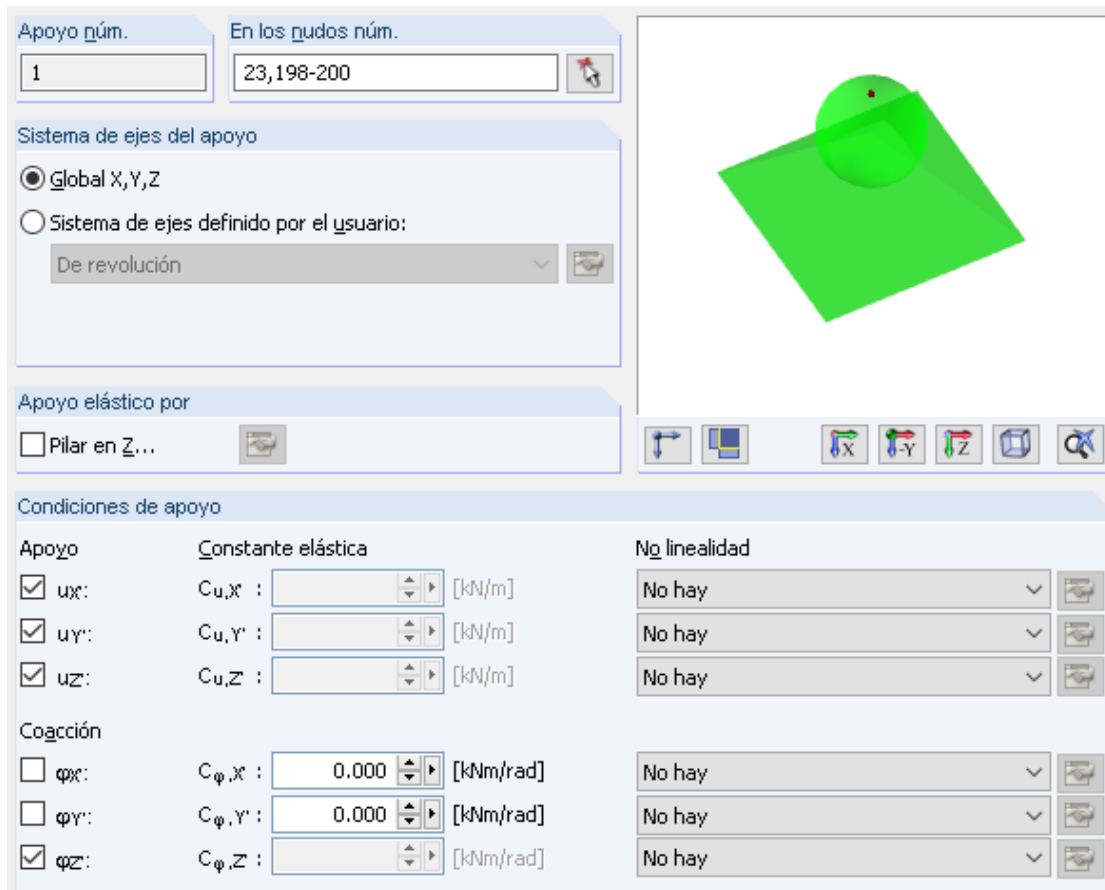


Figura 5.7. – Condiciones de apoyo definidas en el software.

5.4. PRETENSADO EN CABLES

Según se mencionó precedentemente, las riendas fueron modeladas como elementos de tipo “cable”, teniendo en cuenta el pretensado a partir de la “búsqueda de forma” en su estado inicial, como se muestra en la figura siguiente a modo de ejemplo.

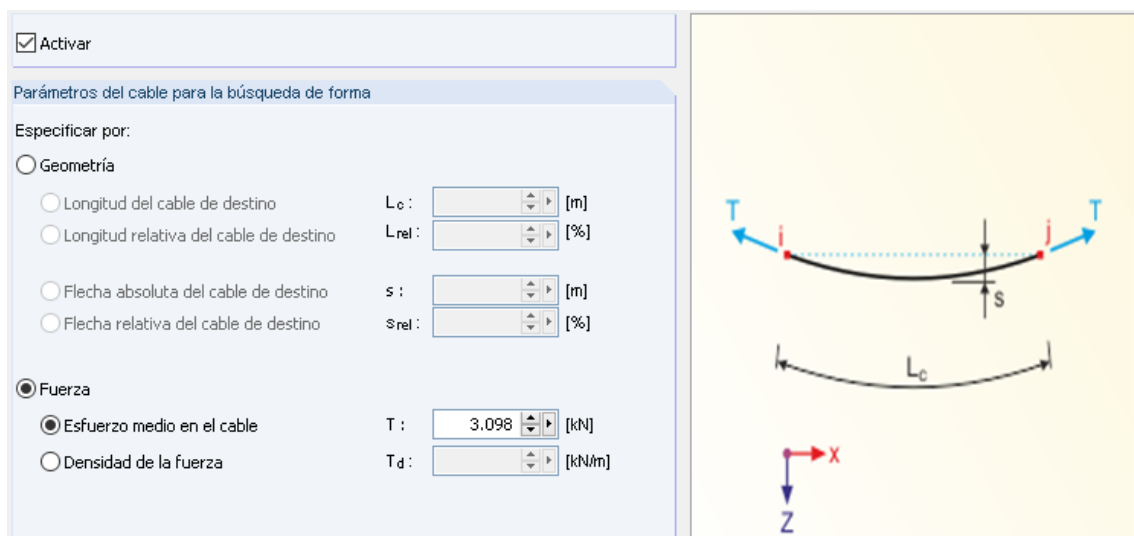


Figura 5.8. – Parámetros definidos para los cables.

El esfuerzo “T” se calcula en función del diámetro del cable y la tensión de pretensado inicial.

La búsqueda de forma se realiza mediante un módulo adicional del software de diseño llamado “RF - FORM FINDING”. El mismo trabaja con las barras que están configuradas especialmente para el trabajo específico de un cable, a las cuales se les asignaron esfuerzos de pretensado. Este “efecto” no se materializa como un estado de cargas en sí, sino como una característica intrínseca del cable, que afecta la matriz geométrica del elemento y actúa en todos los estados de carga y junto a todas las combinaciones de carga del modelo.

5.5. CARGAS

5.5.1. GENERALIDADES

Las cargas actuantes, por cuestiones de criterio y practicidad, fueron modeladas de diversas formas. A continuación, se muestra gráficamente (acompañado de una breve explicación) la disposición de cada tipo de carga.

5.5.2. CASOS DE CARGA

Para realizar todas las combinaciones de cargas posibles, el software requiere una discretización de los “estados de carga” o “casos de carga”. En esta parte se definieron la “Categoría de la acción” y la “Descripción del caso de carga”. Luego, las cargas se modelan, según corresponda, dentro de cada “caso de carga”.

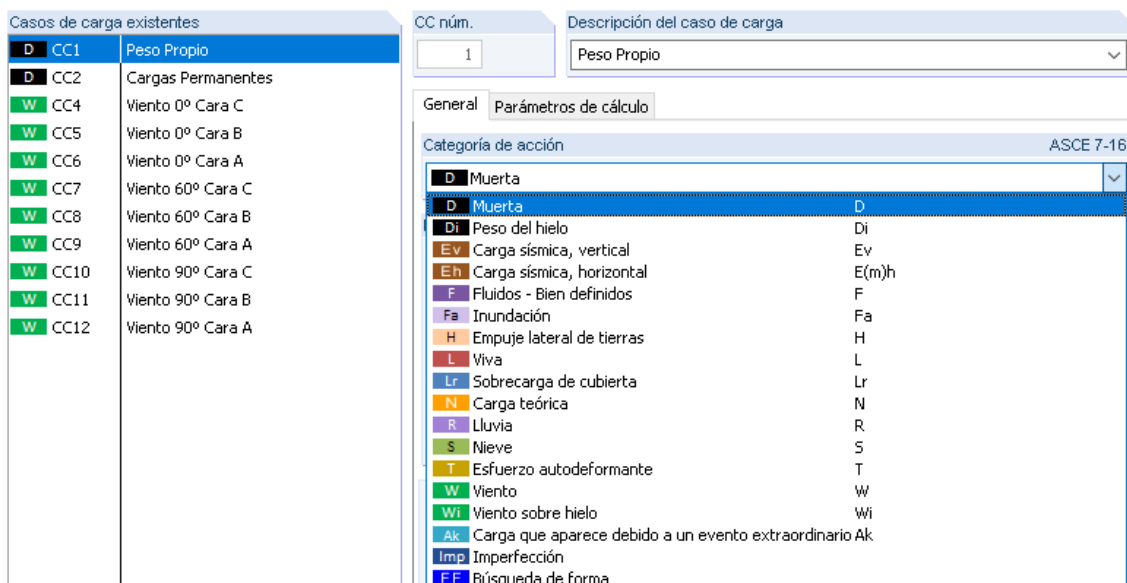


Figura 5.9. – Casos de carga definidos.

5.5.3. DISPOSICIÓN DE LAS CARGAS EN EL MODELO

5.5.3.1. PESO PROPIO

Como ya se mencionó, esta carga está contemplada por el software y por ende no se visualiza sobre el modelo de la estructura.

5.5.3.2. CARGAS PERMANENTES

Las cargas permanentes correspondientes a las antenas, se aplicaron como “carga puntual en nudo” sobre las estructuras de soporte.

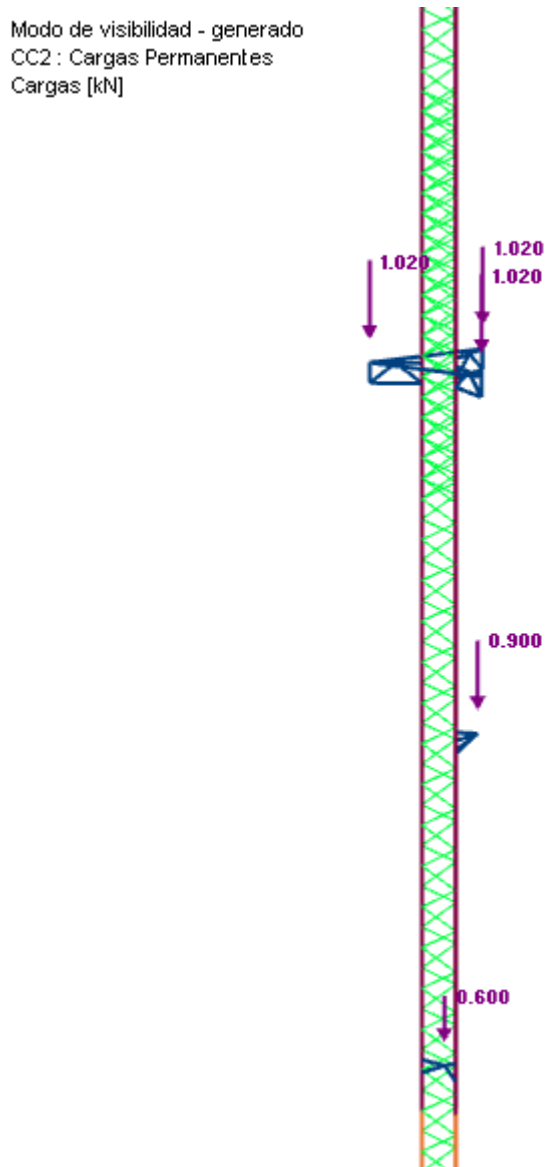


Figura 5.10. – Cargas permanentes.

5.5.3.3. CARGAS DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURA, GUÍAS DE ONDA Y ESCALERA DE SERVICIO

Este conjunto de cargas es aplicado de diferentes formas, en función del ángulo del viento respecto a las cargas. Vale aclarar que, las cargas de viento calculadas sobre guías de onda y escalera de servicio, son sumadas a la carga sobre estructura y se modelan como un único valor. Como ejemplo, se muestran las cargas aplicadas en la cara “A” de la estructura.

En torres atirantadas con tres o más vanos y con al menos un vano de mástil mayor que 24 m dentro del tercio superior de la altura de la estructura se deben contemplar distintas distribuciones de carga de viento propuestas por el reglamento CIRSOC 306, para tener en cuenta los efectos dinámicos de las ráfagas de viento. En este caso, la torre NO cumple con las condiciones para las cuales resulta necesario tener en cuenta este fenómeno.

Para la dirección del viento 0° respecto a la cara A (caso de carga “CC6 – Viento 0° Cara A”), las cargas se modelan como “carga superficial”, quitando la influencia de las diagonales, de modo que los elementos que toman efectivamente la carga son los cordones.

Modo de visibilidad - generado
CC6 : Viento 0° Cara A
Factor de CC: 1.60 (Dividir resultados por factor de CO - No)

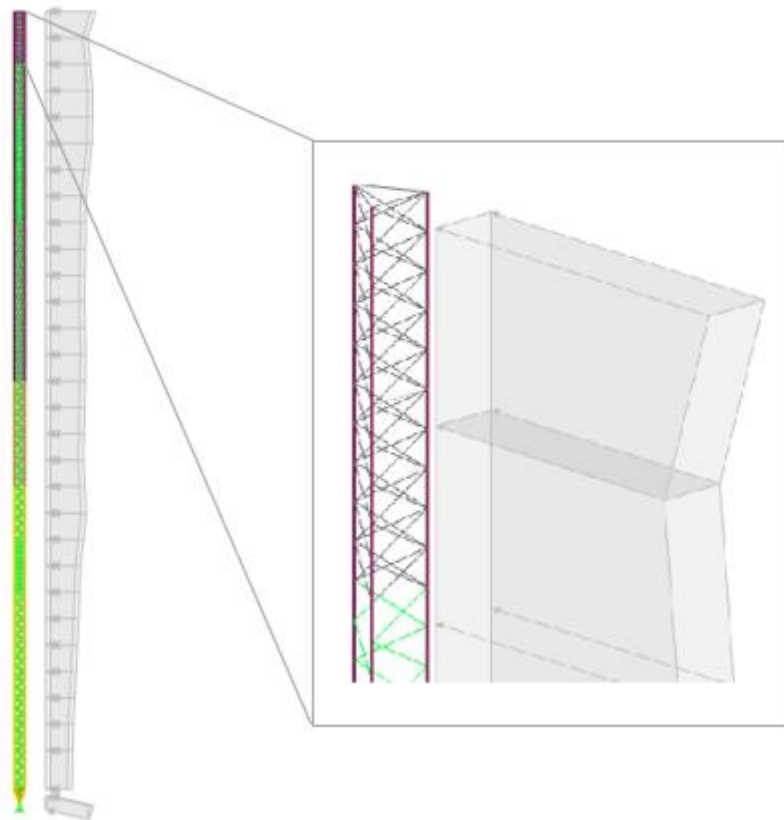


Figura 5.11. – Fuerzas de viento sobre estructura (0° respecto a las caras).

Para la dirección del viento 60° respecto a la cara A (caso de carga “CC9 – Viento 60° Cara A”), las cargas se modelan, de forma simplificada, como “carga puntual en nudo” sobre la mitad de cada tramo. Los valores de las fuerzas puntuales [kN] son previamente relacionados con los obtenidos del cálculo, que resultan del tipo fuerza superficial [kN/m²].

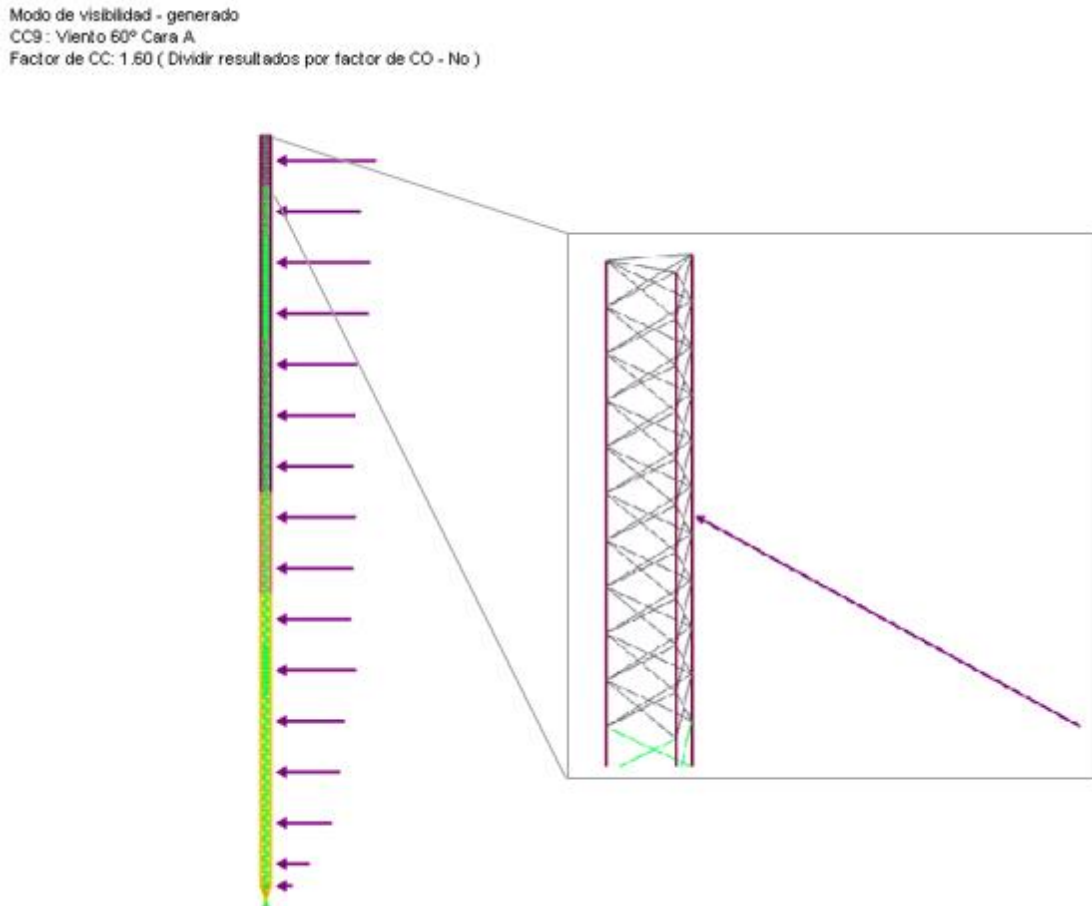


Figura 5.12. – Fuerzas de viento sobre estructura (60° respecto a las caras).

Para la dirección del viento 90° respecto a la cara A (caso de carga “CC12 – Viento 90° Cara A”), las cargas se modelan, de forma simplificada, como “carga puntual en nudo” sobre la mitad de cada tramo y además se colocan de “a pares en ambos cordones” para evitar una torsión inexistente. Los valores de las fuerzas puntuales [kN] son previamente relacionados con los obtenidos del cálculo, que resultan del tipo fuerza superficial [kN/m²]. A su vez, el valor puntal resultante se divide en dos por lo anterior mencionado respecto de la torsión.

Modo de visibilidad - generado
CC12 : Viento 90° Cara A
Factor de CC: 1.60 (Dividir resultados por factor de CO - No)

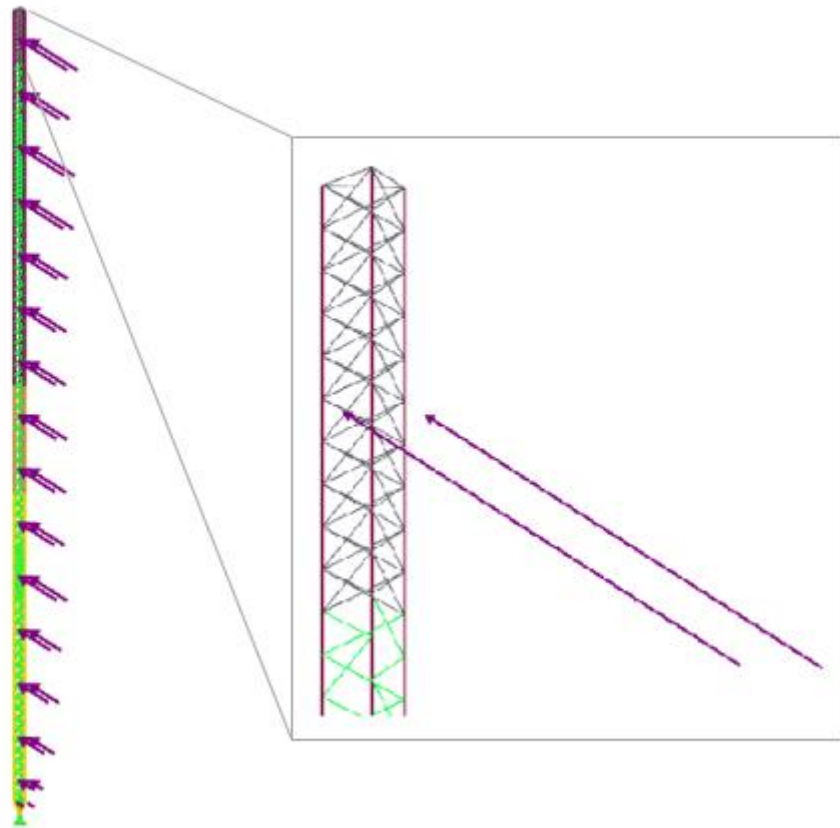


Figura 5.13. – Fuerzas de viento sobre estructura (90° respecto a las caras).

5.5.3.4. CARGAS DE VIENTO EN ANTENAS PANEL Y RRU

En función de cómo son calculadas (ver en 4.7.5.1), se aplican como cargas puntuales en los puntos extremos de las estructuras de soporte. De modo simplificado, se considera el conjunto de antenas en un único valor. Como ejemplo, se muestran las cargas modeladas en el caso de carga “CC4 – Viento 0° Cara C”.

Modo de visibilidad - generado
CC4 : Viento 0° Cara C
Factor de CC: 1.60 (Dividir resultados por factor de CO - No)

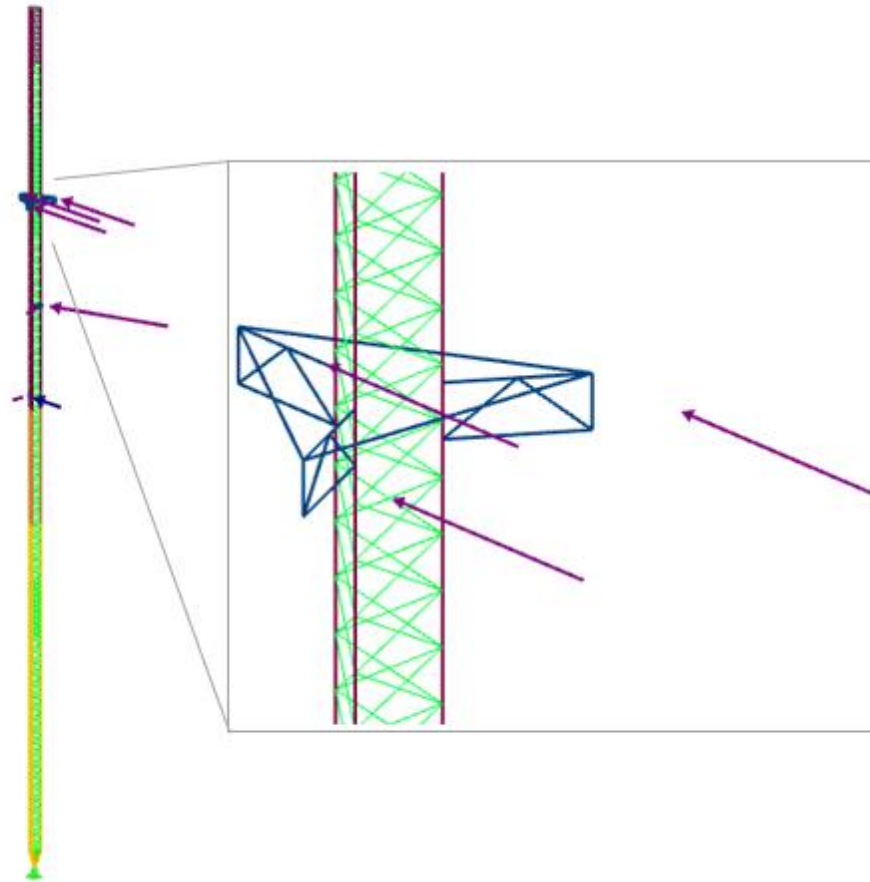


Figura 5.14. – Fuerzas de viento sobre antenas panel y RRU.

5.5.3.5. CARGAS DE VIENTO EN ANTENAS MICROONDAS

Estas cargas se modelan como “carga puntual en nudo” y se colocan sobre el nudo concurrente de los elementos del brazo de soporte. Para definir las direcciones “normal y lateral” en donde actúan, se crean dos líneas ortogonales y se utilizan como referencia. En este caso, como ejemplo se muestran las cargas modeladas en el caso de carga “CC5 – Viento 0° Cara B”.

Modo de visibilidad
CC5: Viento 0° Cara B
Factor de CC: 1.60 (Dividir resultados por factor de CO - No)

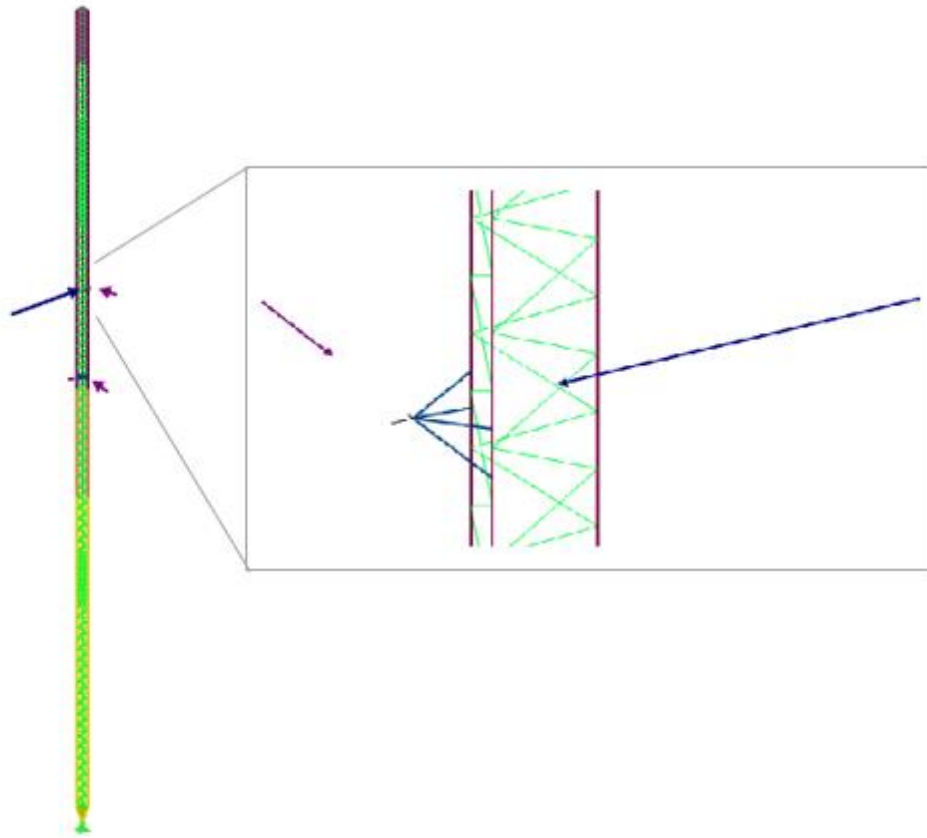


Figura 5.15. – Fuerzas de viento sobre antenas microondas.

5.5.3.6. CARGAS DE VIENTO EN RIENDAS

Estas cargas se calculan por unidad de longitud y por ello se modelan como “carga uniformemente distribuida en barra”. Para ejemplificar, se muestran los parámetros configurados para aplicar las cargas en el caso “CC4 - Viento 0° Cara C” y el resultado gráfico.

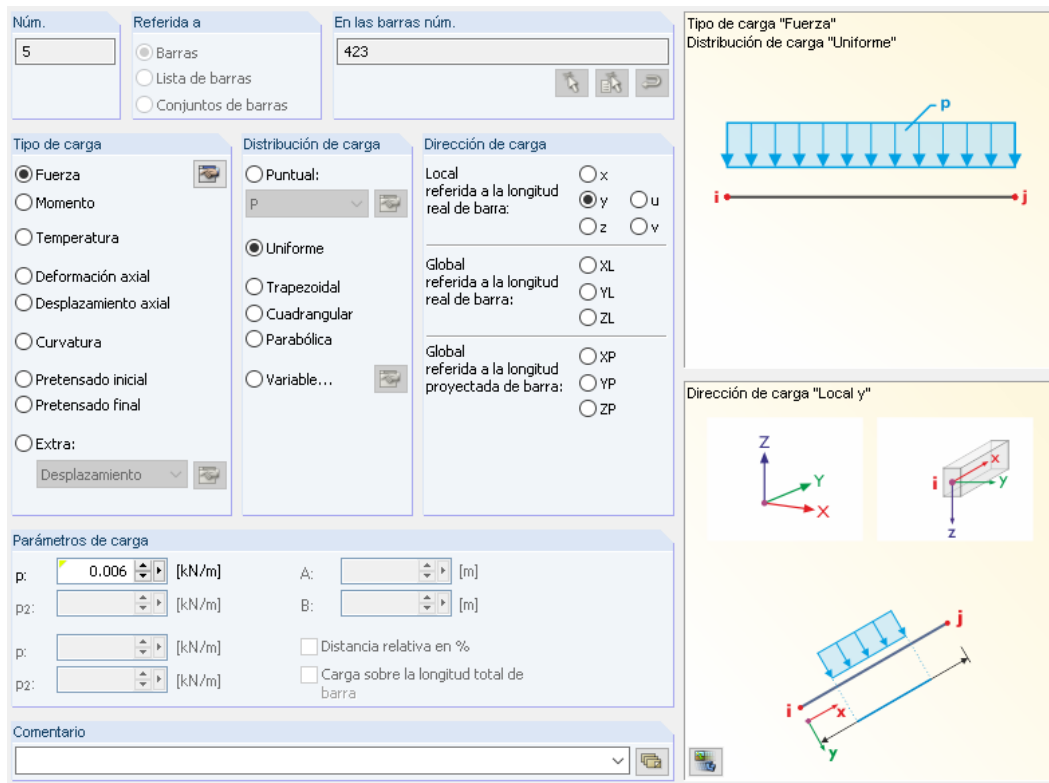


Figura 5.16. – Fuerzas de viento sobre riendas. Tipo de distribución y parámetros de carga.

CC4 : Viento 0° Cara C
 Factor de CC: 1.60 (Dividir resultados por factor de CO - No)

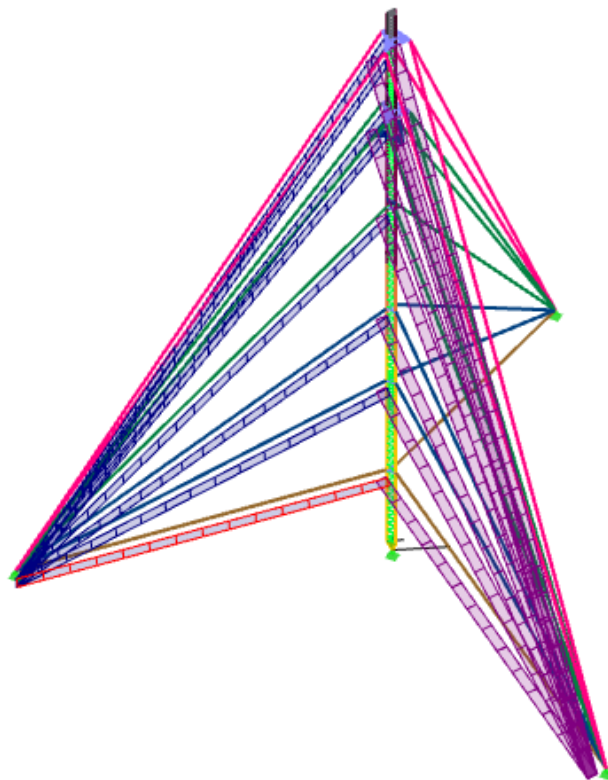


Figura 5.17. – Fuerzas de viento sobre riendas.

6. REACCIONES EN APOYOS

Si bien, en este caso, no se realizan las verificaciones pertinentes a las fundaciones (riendas y base central), a modo de control y por requerimiento de la empresa solicitante, se presentan las reacciones de apoyo máximas para cada apoyo, tanto para las combinaciones últimas como las de servicio. Por otra parte, también se calculan los “tiros” máximos en cada anclaje.

Reacciones Estado Límite último ELU					
Apoyo		Esfuerzos en apoyos			Tiro máximo
		[kN]			[kN]
		P _{X'}	P _{Y'}	P _{Z'}	
Central	Max P _{X'}	2.57	-4.66	-493.14	N/A
	Min P _{X'}	-5.18	0.40	-495.72	N/A
	Max P _{Y'}	2.34	4.63	-494.80	N/A
	Min P _{Y'}	2.57	-4.66	-493.14	N/A
	Max P _{Z'}	0.00	0.00	-332.11	N/A
	Min P _{Z'}	-0.15	-0.34	-723.27	N/A
Anclaje 3	Max P _{X'}	-5,91	0,00	6,18	8,55
	Min P _{X'}	-261,82	-12,20	314,08	409,08
	Max P _{Y'}	-258,66	12,09	310,14	404,03
	Min P _{Y'}	-261,82	-12,20	314,08	409,08
	Max P _{Z'}	-261,82	-12,20	314,08	409,08
	Min P _{Z'}	-5,91	0,00	6,18	8,55
Anclaje 2	Max P _{X'}	139,95	-218,09	310,39	404,34
	Min P _{X'}	2,96	-5,13	6,20	8,57
	Max P _{Y'}	2,96	-5,13	6,20	8,57
	Min P _{Y'}	119,13	-230,78	310,78	405,01
	Max P _{Z'}	119,13	-230,78	310,78	405,01
	Min P _{Z'}	2,96	-5,13	6,20	8,57
Anclaje 1	Max P _{X'}	140,40	218,88	311,63	405,87
	Min P _{X'}	2,95	5,11	6,16	8,53
	Max P _{Y'}	118,88	230,19	309,95	403,97
	Min P _{Y'}	2,95	5,11	6,16	8,53
	Max P _{Z'}	140,40	218,88	311,63	405,87
	Min P _{Z'}	2,95	5,11	6,16	8,53

Tabla 6.0. – Reacciones de apoyos para ELU.

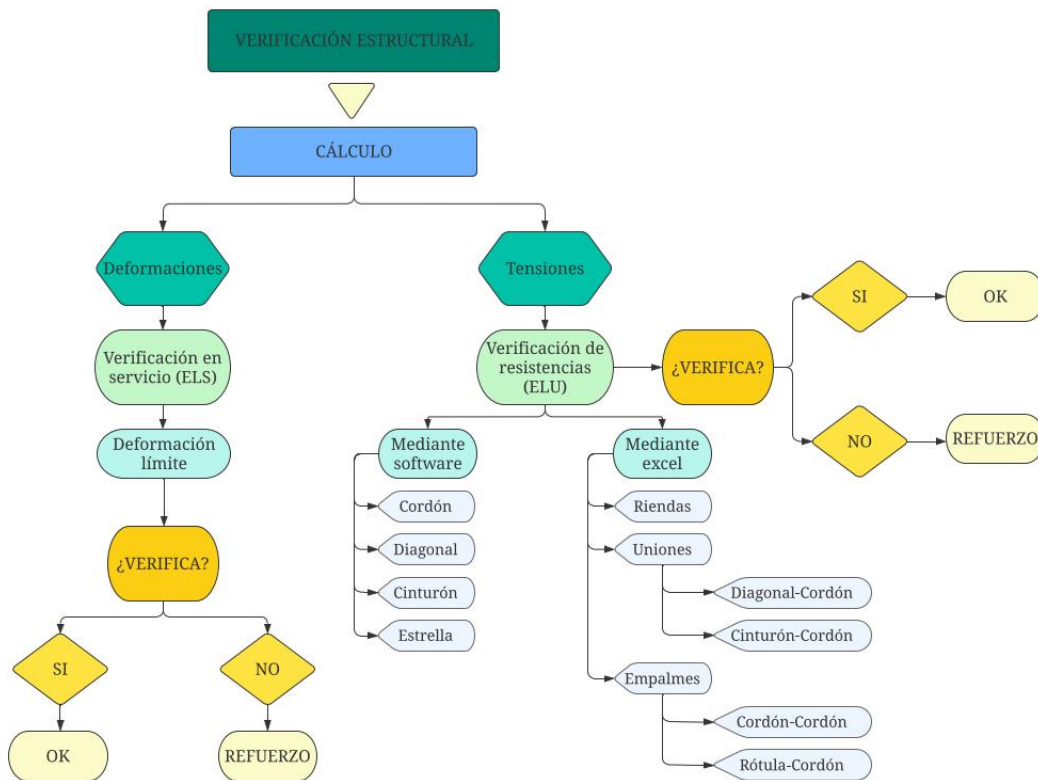
Reacciones Estado Límite de servicio ELS					
Apoyo		Esfuerzos en apoyos			Tiro máximo
		[kN]			[kN]
		P _{X'}	P _{Y'}	P _{Z'}	
Central	Max P _{X'}	4,82	-0,01	-435,59	N/A
	Min P _{X'}	-3,79	0,15	-362,14	N/A
	Max P _{Y'}	-2,44	4,19	-434,56	N/A
	Min P _{Y'}	-2,33	-4,09	-437,20	N/A
	Max P _{Z'}	0,00	0,00	-295,78	N/A
	Min P _{Z'}	-2,03	-3,58	-479,30	N/A
Anclaje 3	Max P _{X'}	-6,94	0,00	9,07	11,42
	Min P _{X'}	-160,96	-6,17	196,52	254,10
	Max P _{Y'}	-159,12	6,13	194,23	251,16
	Min P _{Y'}	-83,85	-6,73	107,99	136,89
	Max P _{Z'}	-160,96	-6,17	196,52	254,10
	Min P _{Z'}	-6,94	0,00	9,07	11,42
Anclaje 2	Max P _{X'}	84,94	-134,80	194,33	251,30
	Min P _{X'}	3,49	-6,04	9,13	11,49
	Max P _{Y'}	3,49	-6,04	9,13	11,49
	Min P _{Y'}	74,40	-141,24	194,53	251,65
	Max P _{Z'}	74,40	-141,24	194,53	251,65
	Min P _{Z'}	3,49	-6,04	9,13	11,49
Anclaje 1	Max P _{X'}	85,21	135,28	195,07	252,22
	Min P _{X'}	3,46	5,99	9,03	11,38
	Max P _{Y'}	74,26	140,94	194,11	251,11
	Min P _{Y'}	3,46	5,99	9,03	11,38
	Max P _{Z'}	85,21	135,28	195,07	252,22
	Min P _{Z'}	3,46	5,99	9,03	11,38

Tabla 6.1. – Reacciones de apoyos para ELS.

7. VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS (ELU)

Se deben satisfacer las especificaciones del Reglamento CIRSOC 301-2005 (para elementos de perfiles laminados o armados con chapas y perfiles laminados, y sus uniones) y Reglamento CIRSOC 303-2009 (para elementos de secciones abiertas conformadas en frío y sus uniones), ya que son las secciones utilizadas en la torre.

7.1. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN



7.2. RESUMEN DE RESULTADOS

Resumen y conclusiones			
Conjunto	Elemento	Status	Condición
Barras y cables	Cordones	●	No Verifica
	Diagonales	●	No Verifica
	Estrellas	●	Verifica
	Cinturones	●	Verifica
	Riendas	●	Tolerable
Uniones	Empalme Cordón-Cordón	●	Verifica
	Unión Diagonal-Cordón	●	No Verifica
	Unión Cinturón-Cordón	●	Verifica

Tabla 7.0. – Resumen y conclusiones.

7.3. VERIFICACIONES EN CORDONES

Consideraciones para el cálculo y los resultados:

- La **longitud de pandeo** para los tramos de cada cordón es determinada de acuerdo con la configuración de diagonales presente en el mismo. Es así que, para una diagonalización doble se tomó $L/2 = 0,60$ m, mientras para una diagonalización simple se considera $L = 1,00$ m = “paso de diagonales”. Esto último se puede ver con mayor detalle en el ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.
- El **área neta** de la sección depende del diámetro de los bulones con los que se vinculan los cordones. Los mismos se detallan en el ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO.
- Los cordones se vinculan mediante planchuelas o chapas plegadas, pero siempre mediante las dos alas de la sección, por ello el **coeficiente de retraso del cortante** se toma igual a 1.
- Los estados límites más determinantes para los cuales se diseñan/verifican (en este caso) los cordones se detallan en el ANEXO 3 – VERIFICACIONES DE ELEMENTOS.

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	Material	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)
	[m]			[mm]	[mm]	[cm²]
0	0 a 1,6	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
1	1,6 a 6	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
2	6 a 12	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
3	12 a 18	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
4	18 a 24	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
5	24 a 30	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
6	30 a 36	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
7	36 a 42	< 190x6,4	F36	190	6,4	12,16
8	42 a 48	< 190x6,4	F36	190	6,4	12,16
9	48 a 54	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
10	54 a 60	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
11	60 a 66	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
12	66 a 72	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
13	72 a 78	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
14	78 a 84	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
15	84 a 90	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24

Tabla 7.1. – Verificaciones en cordones (1).

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	Área neta (An)	Coef. retraso cortante (U)	Área efectiva (Af)	Longitud de pandeo
	[m]		[cm ²]	[Ad.]	[cm ²]	[m]
0	0 a 1,6	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	0,6
1	1,6 a 6	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	1,2
2	6 a 12	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	1,2
3	12 a 18	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	1,2
4	18 a 24	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	1,2
5	24 a 30	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	0,6
6	30 a 36	< 190x9,5	14,65	1,00	14,65	1,2
7	36 a 42	< 190x6,4	9,87	1,00	9,87	1,2
8	42 a 48	< 190x6,4	9,87	1,00	9,87	1,2
9	48 a 54	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	1,2
10	54 a 60	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	1,2
11	60 a 66	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	1,2
12	66 a 72	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	0,6
13	72 a 78	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	0,6
14	78 a 84	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	1,2
15	84 a 90	< 160x6,4	7,95	1,00	7,95	0,6

Tabla 7.2. – Verificaciones en cordones (2).

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	N +	N -	Ratio	Condición
	[m]		[kN]	[kN]		
0	0 a 1,6	< 190x9,5	-	-278,26	0,75	Verifica
1	1,6 a 6	< 190x9,5	-	-285,62	0,98	Verifica
2	6 a 12	< 190x9,5	-	-296,55	0,83	Verifica
3	12 a 18	< 190x9,5	-	-293,78	0,83	Verifica
4	18 a 24	< 190x9,5	-	-290,76	0,82	Verifica
5	24 a 30	< 190x9,5	-	-281,88	1,03	Tolerable
6	30 a 36	< 190x9,5	-	-253,29	0,76	Verifica
7	36 a 42	< 190x6,4	-	-216,67	1,6	No Verifica
8	42 a 48	< 190x6,4	-	-258,71	1,33	No Verifica
9	48 a 54	< 160x6,4	-	-271,89	1,65	No Verifica
10	54 a 60	< 160x6,4	21,05	-269,37	1,76	No Verifica
11	60 a 66	< 160x6,4	91,63	-245,74	1,67	No Verifica
12	66 a 72	< 160x6,4	93,27	-253,33	1,42	No Verifica
13	72 a 78	< 160x6,4	43,56	-204,33	1,26	No Verifica
14	78 a 84	< 160x6,4	27,22	-109,46	1,05	Tolerable
15	84 a 90	< 160x6,4	7,65	-93,06	0,64	Verifica

Tabla 7.3. – Verificaciones en cordones (3).

7.4. VERIFICACIONES EN DIAGONALES

Consideraciones para el cálculo y los resultados:

- La **longitud de pandeo** para las diagonales es igual a la longitud de las mismas, es decir $L = 1,25$ m aproximadamente. Esto último se puede ver con mayor detalle en el ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.
- El **área neta** de la sección depende del diámetro del bulón con el que se vinculan las diagonales a los cordones. Los mismos se detallan en el ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO.
- Las diagonales se vinculan a los cordones mediante un único bulón y a través de una de las alas del perfil, por ello se define un **coeficiente de retraso del cortante** igual a 0,75.
- Los estados límites más determinantes para los cuales se diseñan/verifican (en este caso) las diagonales se detallan en el ANEXO 3 – VERIFICACIONES DE ELEMENTOS.

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	Material	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)
	[m]			[mm]	[mm]	[cm ²]
0	0 a 1,6	L44x4,8	F24	44	4,8	3,99
1	1,6 a 6	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
2	6 a 12	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
3	12 a 18	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
4	18 a 24	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
5	24 a 30	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
6	30 a 36	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
7	36 a 42	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
8	42 a 48	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
9	48 a 54	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
10	54 a 60	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
11	60 a 66	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
12	66 a 72	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
13	72 a 78	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
14	78 a 84	L38x3,2	F24	38	3,2	2,33
15	84 a 90	L44x3,2	F24	44	3,2	2,71

Tabla 7.4. – Verificaciones en diagonales (1).

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	Área neta (An)	Coef. retraso cortante (U)	Área efectiva (Af)	Longitud de pandeo
	[m]		[cm ²]	[Ad.]	[cm ²]	[m]
0	0 a 1,6	L44x4,8	3,29	0,75	2,47	1,25
1	1,6 a 6	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
2	6 a 12	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
3	12 a 18	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
4	18 a 24	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
5	24 a 30	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
6	30 a 36	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
7	36 a 42	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
8	42 a 48	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
9	48 a 54	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
10	54 a 60	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
11	60 a 66	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
12	66 a 72	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
13	72 a 78	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
14	78 a 84	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
15	84 a 90	L44x3,2	2,24	0,75	1,68	1,25

Tabla 7.5. – Verificaciones en diagonales (2).

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	N +	N -	Ratio	Condición
	[m]		[kN]	[kN]		
0	0 a 1,6	L44x4,8	18,40	-16,60	0,28	Verifica
1	1,6 a 6	L38x3,2	16,28	-13,85	1,06	Tolerable
2	6 a 12	L38x3,2	10,09	-9,77	0,79	Verifica
3	12 a 18	L38x3,2	9,05	-9,10	0,73	Verifica
4	18 a 24	L38x3,2	12,28	-12,05	0,97	Verifica
5	24 a 30	L38x3,2	10,11	-10,09	0,8	Verifica
6	30 a 36	L38x3,2	10,05	-10,85	0,85	Verifica
7	36 a 42	L38x3,2	23,23	-22,84	1,83	No Verifica
8	42 a 48	L38x3,2	19,94	-20,77	1,63	No Verifica
9	48 a 54	L38x3,2	9,99	-9,77	0,77	Verifica
10	54 a 60	L38x3,2	22,35	-23,46	1,89	No Verifica
11	60 a 66	L38x3,2	20,26	-20,27	1,63	No Verifica
12	66 a 72	L38x3,2	10,69	-12,10	0,97	Verifica
13	72 a 78	L38x3,2	19,84	-18,91	1,52	No Verifica
14	78 a 84	L38x3,2	10,25	-11,13	0,89	Verifica
15	84 a 90	L44x3,2	14,45	-15,09	0,72	Verifica

Tabla 7.6. – Verificaciones en diagonales (3).

7.5. VERIFICACIONES EN RIENDAS

Consideraciones para el cálculo y los resultados:

- Para el cálculo de la resistencia de diseño de las riendas se aplican las indicaciones del reglamento CIRSOC 306 2018 (Artículo 7.6.2), tomando un factor de minoración de resistencia igual a 0,6 por tratarse de cables metálicos.

$$T_d = \phi_g * T_g$$

Siendo:

T_d = Resistencia de diseño

ϕ_g = Factor de minoración de resistencia

T_g = Resistencia última a la rotura (catálogo)

- La sección metálica y la carga de rotura del cable se definen en función el diámetro y la calidad del mismo, a través de un catálogo de fabricante que se adjunta en el ANEXO 2 – MODELO Y CÁLCULO.

Verificaciones en riendas						
Nivel de rienda	Tipo de cordón	Diámetro del cable según informe	Diámetro del cable para cálculo	Sección metálica	Tracción máxima del cable mayorado s/ cálculo	Carga de rotura - Rango 120/140 s/ fabricante
[m]		[mm]	[mm]	[mm ²]	[kN]	[kN]
13,50	1x7	7,50	6,62	34,37	17	40
28,50	1x19	12,50	10,89	93,12	60	103
40,50	1x19	12,50	10,89	93,12	62	103
57,50	1x19	16,00	13,94	152,57	86	169
73,00	1x19	16,00	13,94	152,57	62	169
85,00	1x19	19,00	16,56	215,5	60	239

Tabla 7.7. – Verificaciones en riendas (1).

Verificaciones en riendas						
Nivel de rienda	Tipo de cordón	Diámetro del cable según informe	Coficiente de minoración resistencia s/ CIRSOC	Resistencia de diseño (ΦT_g)	Ratio	Condición
[m]		[mm]		[kN]		
13,50	1x7	7,50	0,6	24,0	0,71	Verifica
28,50	1x19	12,50	0,6	61,8	0,97	Verifica
40,50	1x19	12,50	0,6	61,8	1,00	Verifica
57,50	1x19	16,00	0,6	101,4	0,85	Verifica
73,00	1x19	16,00	0,6	101,4	0,61	Verifica
85,00	1x19	19,00	0,6	143,4	0,42	Verifica

Tabla 7.8. – Verificaciones en riendas (2).

7.6. VERIFICACIONES EN CINTURONES

Consideraciones para el cálculo y los resultados:

- Los elementos que conforman los cinturones están solicitados principalmente a esfuerzos axiales de tracción, por lo que la **longitud de pandeo** NO es determinante en este caso.
- El **área neta** de la sección depende de los diámetros de los bulones con los que se vinculan los cinturones a los cordones. Los mismos se detallan en el ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO.
- Los cinturones se vinculan a los cordones mediante dos bulones y a través de una de las alas del perfil, por ello se define un **coeficiente de retraso del cortante** igual a 0,75.
- Los estados límites más determinantes para los cuales se diseñan/verifican (en este caso) las diagonales se detallan en el ANEXO 3 – VERIFICACIONES DE ELEMENTOS.

Verificaciones en cinturones						
Cota de cinturón	Sección	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)	Área neta (An)	Coef. retraso cortante (U)
[m]		[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]	
13,5	L 64x6,4	64	6,4	7,68	6,74	0,75
28,5	L 64x6,4	64	6,4	7,68	6,33	0,75
40,5	L 64x6,4	64	6,4	7,68	6,33	0,75
57,5	L 64x6,4	64	6,4	7,68	6,13	0,75

Tabla 7.9. – Verificaciones en cinturones (1).

Verificaciones en cinturones						
Cota de cinturón	Área efectiva (Af)	Material	Longitud de pandeo	N +	Ratio	Condición
[m]	[cm ²]		[m]	[kN]		
13,5	5,05	F24	1,10	12	0,10	Verifica
28,5	4,75	F24	1,10	34	0,20	Verifica
40,5	4,75	F24	1,10	29	0,26	Verifica
57,5	4,60	F24	1,10	31	0,44	Verifica

Tabla 7.10. – Verificaciones en cinturones (2).

7.7. VERIFICACIONES EN ESTRELLAS

Consideraciones para el cálculo y los resultados:

- La **longitud de pandeo** de los elementos que conforman las estrellas antirotoras son iguales a las longitudes de cada barra, por ello no es posible precisar un único valor. Esto último se puede ver con mayor detalle en el ANEXO 2 – MODELO y CÁLCULO.
- El **área neta** de la sección depende del diámetro del bulón con el que se vinculan las barras de las estrellas entre sí y a los cordones. Los mismos se detallan en el ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO.
- Los elementos de las estrellas se vinculan entre sí y a los cordones mediante diversas configuraciones de bulones y chapas de nudo, pero a través de una de las alas del perfil, por ello se define un **coeficiente de retraso del cortante** igual a 0,75.
- Los estados límites más determinantes para los cuales se diseñan/verifican (en este caso) las diagonales se detallan en el ANEXO 3 – VERIFICACIONES ELEMENTOS.

Verificaciones en estrellas						
Cota de estrella	Sección	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)	Área neta (An)	Coef. retraso cortante (U)
[m]		[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]	
73	L 64x6,4	64	6,4	7,68	6,13	0,75
85	L 64x6,4	64	6,4	7,68	5,93	0,75

Tabla 7.11. – Verificaciones en estrellas (1).

Verificaciones en estrellas						
Cota de estrella	Área efectiva (Af)	Material	N +	N -	Ratio	Condición
[m]	[cm ²]		[kN]	[kN]		
73	4,60	F24	72,22	-66,09	0,68	Verifica
85	4,44	F24	64,84	-60,11	0,66	Verifica

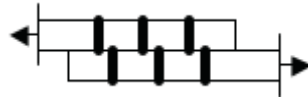
Tabla 7.12. – Verificaciones en estrellas (2).

7.8. VERIFICACIONES EN UNIONES

Estados límites analizados:

1- Corte en bulones:

$$R_{dv} = N_b * P_c * A_b * F_{vt} * \phi_v$$



Siendo:

R_{dv} = Resistencia de diseño a corte [kN]

N_b = Cantidad de bulones

P_c = Planos de corte

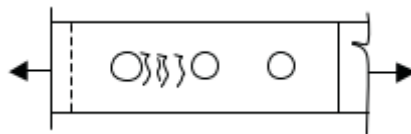
A_b = Sección del bulón [cm²]

F_{vt} = Resistencia a corte del bulón (rosca incluida) [Mpa]

ϕ_v = Factor de reducción de resistencia (corte de bulones)

2- Aplastamiento:

$$R_{dap} = 2,4 * D_b * e_c * F_u * \phi_{ap}$$



Siendo:

R_{dap} = Resistencia de diseño por aplastamiento [kN]

D_b = Diámetro nominal del bulón [mm]

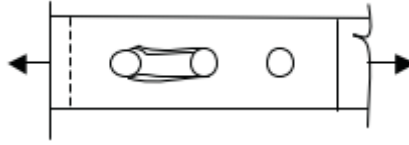
e_c = Espesor de la chapa o perfil [mm]

F_u = Resistencia última de la chapa o perfil [Mpa]

ϕ_{ap} = Factor de reducción de resistencia (aplastamiento)

3- Desgarramiento:

$$R_{dde} = 1,2 * L_c * e_c * F_u * \phi_{des}$$



Siendo:

R_{dde} = Resistencia de diseño por desgarramiento [kN]

L_c = Distancia desde el centro del bulón analizado y el extremo de la chapa o perfil [mm]

e_c = Espesor de la chapa o perfil [mm]

F_u = Resistencia última de la chapa o perfil [Mpa]

ϕ_{des} = Factor de reducción de resistencia (desgarramiento)

4- Fluencia de área bruta:

$$R_{dab} = A_g * F_y * \phi_{ab}$$

Siendo:

R_{dab} = Resistencia de diseño por fluencia de área bruta [kN]

A_g = Área bruta de la sección (chapa o perfil) [cm²]

F_y = Resistencia a fluencia de la chapa o perfil [Mpa]

ϕ_{ab} = Factor de reducción de resistencia (fluencia de área bruta)

5- Rotura de área neta:

$$R_{dan} = A_n * F_u * \phi_{an}$$

Siendo:

R_{dan} = Resistencia de diseño por rotura de área neta [kN]

A_n = Área neta de la sección (chapa o perfil) [cm²]

F_u = Resistencia última de la chapa o perfil [Mpa]

ϕ_{an} = Factor de reducción de resistencia (rotura de área neta)

6- Rotura bloque de corte:

$$R_{dbc} = \phi_{bc} * MÍN [U_{bs} * F_u * A_{nt} + (0,6 * F_y) * A_{gv}; U_{bs} * F_u * A_{nt} + (0,6 * F_u) * A_{nv}]$$

Siendo:

R_{dbc} = Resistencia de diseño por rotura bloque de corte [kN]

U_{bs} = Coeficiente de uniformidad del esfuerzo axial

A_{nt} = Área neta a tracción (chapa o perfil) [cm²]

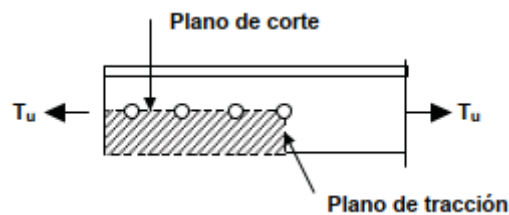
A_{gv} = Área bruta a corte (chapa o perfil) [cm²]

A_{nv} = Área neta a corte (chapa o perfil) [cm²]

F_u = Resistencia última de la chapa o perfil [Mpa]

F_y = Resistencia a fluencia de la chapa o perfil [Mpa]

ϕ_{bc} = Factor de reducción de resistencia (rotura bloque de corte)



Criterios para el cálculo:

- Las distancias entre bulones o de bulón a extremo se estimaron mediante una relación con los diámetros de los bulones y con ayuda de las fotografías.
- Se considera que la rosca de los bulones está incluida en el o los planos de corte.
- La cantidad de bulones en la unión difiere para cada caso, por ello se ajustan las fórmulas para cada tipo de unión.
- El detalle de los cálculos intermedios para llegar a las resistencias de diseño, como así también los valores de resistencias utilizadas, se adjuntan en el ANEXO 4 – VERIFICACIÓN DE UNIONES.

7.8.1. EMPALME CORDÓN-CORDÓN

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Corte en Bulones		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	551,12	278,26	0,50
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	551,12	285,62	0,52
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	551,12	296,55	0,54
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	551,12	293,78	0,53
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	551,12	290,76	0,53
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	551,12	281,88	0,51
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	551,12	253,29	0,46
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	551,12	216,67	0,39
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	551,12	258,71	0,47
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	551,12	271,89	0,49
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	551,12	269,37	0,49
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	551,12	245,74	0,45
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	551,12	253,33	0,46
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	551,12	204,33	0,37
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	551,12	109,46	0,20
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	551,12	93,06	0,17

Tabla 7.13. – Verificaciones en empalme de cordones (1).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Aplastamiento		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	273,05	139,13	0,51
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	273,05	142,81	0,52
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	273,05	148,28	0,54
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	273,05	146,89	0,54
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	273,05	145,38	0,53
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	273,05	140,94	0,52
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	273,05	126,65	0,46
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	273,05	108,34	0,40
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	273,05	129,36	0,47
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	273,05	135,95	0,50
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	273,05	134,69	0,49
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	273,05	122,87	0,45
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	273,05	126,67	0,46
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	273,05	102,17	0,37
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	273,05	54,73	0,20
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	273,05	46,53	0,17

Tabla 7.14. – Verificaciones en empalme de cordones (2).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Fluencia A.Bruta Cordón		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	584,82	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	584,82	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	584,82	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	584,82	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	584,82	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	584,82	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	584,82	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	393,98	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	393,98	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	331,78	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	331,78	21,05	0,06
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	331,78	91,63	0,28
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	331,78	93,27	0,28
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	331,78	43,56	0,13
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	331,78	27,22	0,08
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	331,78	7,65	0,02

Tabla 7.15. – Verificaciones en empalme de cordones (3).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Fluencia A.Bruta Placa		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	133,62	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	111,11	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	111,11	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	111,11	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	111,11	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	111,11	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	111,11	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	126,65	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	126,65	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	82,30	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	82,30	5,26	0,06
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	82,30	22,91	0,28
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	82,30	23,32	0,28
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	82,30	10,89	0,13
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	82,30	6,81	0,08
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	82,30	1,91	0,02

Tabla 7.16. – Verificaciones en empalme de cordones (4).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura A.Neta Cordón		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	571,50	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	571,50	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	571,50	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	571,50	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	571,50	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	571,50	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	571,50	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	385,01	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	385,01	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	310,13	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	310,13	21,05	0,07
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	310,13	91,63	0,30
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	310,13	93,27	0,30
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	310,13	43,56	0,14
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	310,13	27,22	0,09
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	310,13	7,65	0,02

Tabla 7.17. – Verificaciones en empalme de cordones (5).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura A.Neta Placa		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	128,19	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	106,60	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	106,60	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	106,60	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	106,60	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	106,60	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	106,60	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	126,99	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	126,99	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	76,23	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	76,23	5,26	0,07
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	76,23	22,91	0,30
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	76,23	23,32	0,31
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	76,23	10,89	0,14
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	76,23	6,81	0,09
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	76,23	1,91	0,03

Tabla 7.18. – Verificaciones en empalme de cordones (6).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura Bloque Corte Cordón		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	742,88	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	742,88	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	742,88	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	742,88	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	742,88	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	742,88	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	742,88	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	500,47	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	500,47	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	463,03	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	463,03	21,05	0,05
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	463,03	91,63	0,20
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	463,03	93,27	0,20
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	463,03	43,56	0,09
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	463,03	27,22	0,06
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	463,03	7,65	0,02

Tabla 7.19. – Verificaciones en empalme de cordones (7).

Verificaciones en empalme de cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura Bloque corte Placa		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	127,59	-	-
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	106,10	-	-
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	106,10	-	-
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	106,10	-	-
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	106,10	-	-
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	106,10	-	-
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	106,10	-	-
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	106,10	-	-
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	106,10	-	-
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	85,95	-	-
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	85,95	5,26	0,06
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	85,95	22,91	0,27
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	85,95	23,32	0,27
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	85,95	10,89	0,13
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	85,95	6,81	0,08
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	85,95	1,91	0,02

Tabla 7.20. – Verificaciones en empalme de cordones (8).

Verificaciones en empalme de cordones					
Tramo	Sección	N +	N -	Ratio Final	Condición
[m]		[kN]	[kN]		
0 a 1,6	< 190x9,5	-	278,26	0,51	Verifica
1,6 a 6	< 190x9,5	-	285,62	0,52	Verifica
6 a 12	< 190x9,5	-	296,55	0,54	Verifica
12 a 18	< 190x9,5	-	293,78	0,54	Verifica
18 a 24	< 190x9,5	-	290,76	0,53	Verifica
24 a 30	< 190x9,5	-	281,88	0,52	Verifica
30 a 36	< 190x9,5	-	253,29	0,46	Verifica
36 a 42	< 190x6,4	-	216,67	0,40	Verifica
42 a 48	< 190x6,4	-	258,71	0,47	Verifica
48 a 54	< 160x6,4	-	271,89	0,50	Verifica
54 a 60	< 160x6,4	21,05	269,37	0,49	Verifica
60 a 66	< 160x6,4	91,63	245,74	0,45	Verifica
66 a 72	< 160x6,4	93,27	253,33	0,46	Verifica
72 a 78	< 160x6,4	43,56	204,33	0,37	Verifica
78 a 84	< 160x6,4	27,22	109,46	0,20	Verifica
84 a 90	< 160x6,4	7,65	93,06	0,17	Verifica

Tabla 7.21. – Verificaciones en empalme de cordones (9).

7.8.2. UNIÓN DIAGONAL-CORDÓN

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Corte en Bulones		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	78,38	18,40	0,23
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	78,38	16,28	0,21
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	78,38	10,09	0,13
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	78,38	9,10	0,12
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	78,38	12,28	0,16
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	78,38	10,11	0,13
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	78,38	10,85	0,14
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	78,38	23,23	0,30
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	78,38	20,77	0,26
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	78,38	9,99	0,13
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	78,38	23,46	0,30
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	78,38	20,27	0,26
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	78,38	12,10	0,15
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	78,38	19,84	0,25
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	78,38	11,13	0,14
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	78,38	15,09	0,19

Tabla 7.22. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (1).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Aplastamiento		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	28,85	18,40	0,64
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	19,23	16,28	0,85
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	19,23	10,09	0,52
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	19,23	9,10	0,47
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	19,23	12,28	0,64
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	19,23	10,11	0,53
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	19,23	10,85	0,56
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	19,23	23,23	1,21
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	19,23	20,77	1,08
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	19,23	9,99	0,52
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	19,23	23,46	1,22
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	19,23	20,27	1,05
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	19,23	12,10	0,63
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	19,23	19,84	1,03
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	19,23	11,13	0,58
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	19,23	15,09	0,78

Tabla 7.23. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (2).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Fluencia A.Bruta Diagonal		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	84,46	18,40	0,22
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	49,27	16,28	0,33
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	49,27	10,09	0,20
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	49,27	9,05	0,18
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	49,27	12,28	0,25
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	49,27	10,11	0,21
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	49,27	10,05	0,20
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	49,27	23,23	0,47
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	49,27	19,94	0,40
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	49,27	9,99	0,20
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	49,27	22,35	0,45
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	49,27	20,26	0,41
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	49,27	10,69	0,22
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	49,27	19,84	0,40
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	49,27	10,25	0,21
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	57,39	14,45	0,25

Tabla 7.24. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (3).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura A.Neta Diagonal		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	68,43	18,40	0,27
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	38,69	16,28	0,42
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	38,69	10,09	0,26
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	38,69	9,05	0,23
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	38,69	12,28	0,32
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	38,69	10,11	0,26
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	38,69	10,05	0,26
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	38,69	23,23	0,60
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	38,69	19,94	0,52
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	38,69	9,99	0,26
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	38,69	22,35	0,58
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	38,69	20,26	0,52
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	38,69	10,69	0,28
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	38,69	19,84	0,51
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	38,69	10,25	0,26
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	46,69	14,45	0,31

Tabla 7.25. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (4).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Rotura Bloque Corte Diagonal		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	42,20	18,40	0,44
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	25,47	16,28	0,64
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	25,47	10,09	0,40
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	25,47	9,05	0,36
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	25,47	12,28	0,48
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	25,47	10,11	0,40
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	25,47	10,05	0,39
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	25,47	23,23	0,91
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	25,47	19,94	0,78
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	25,47	9,99	0,39
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	25,47	22,35	0,88
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	25,47	20,26	0,80
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	25,47	10,69	0,42
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	25,47	19,84	0,78
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	25,47	10,25	0,40
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	28,13	14,45	0,51

Tabla 7.26. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (5).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones					
Tramo	Sección	N +	N -	Ratio Final	Condición
[m]		[kN]	[kN]		
0 a 1,6	L44x4,8	18,40	16,60	0,64	Verifica
1,6 a 6	L38x3,2	16,28	13,85	0,85	Verifica
6 a 12	L38x3,2	10,09	9,77	0,52	Verifica
12 a 18	L38x3,2	9,05	9,10	0,47	Verifica
18 a 24	L38x3,2	12,28	12,05	0,64	Verifica
24 a 30	L38x3,2	10,11	10,09	0,53	Verifica
30 a 36	L38x3,2	10,05	10,85	0,56	Verifica
36 a 42	L38x3,2	23,23	22,84	1,21	No verifica
42 a 48	L38x3,2	19,94	20,77	1,08	Tolerable
48 a 54	L38x3,2	9,99	9,77	0,52	Verifica
54 a 60	L38x3,2	22,35	23,46	1,22	No verifica
60 a 66	L38x3,2	20,26	20,27	1,05	Tolerable
66 a 72	L38x3,2	10,69	12,10	0,63	Verifica
72 a 78	L38x3,2	19,84	18,91	1,03	Tolerable
78 a 84	L38x3,2	10,25	11,13	0,58	Verifica
84 a 90	L44x3,2	14,45	15,09	0,78	Verifica

Tabla 7.27. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (6).

7.8.3. UNIÓN CINTURÓN-CORDÓN

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones						
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Corte en Bulones		Ratio
				Rd	Ru	
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	
1	13,5	L 64x6,4	12	156,76	12	0,077
2	28,5	L 64x6,4	34	352,72	34	0,096
3	40,5	L 64x6,4	29	352,72	29	0,082
4	57,5	L 64x6,4	31	480,09	31	0,065

Tabla 7.28. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (1).

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones						
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Aplastamiento		Ratio
				Rd	Ru	
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	
1	13,5	L 64x6,4	12	92,601	6	0,06
2	28,5	L 64x6,4	34	139,967	17	0,12
3	40,5	L 64x6,4	29	139,967	14,5	0,10
4	57,5	L 64x6,4	31	163,650	15,5	0,09

Tabla 7.29. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (2).

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones						
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Fluencia A.Bruta Cinturón		Ratio
				Rd	Ru	
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	
1	13,5	L 64x6,4	12	162,43	12	0,07
2	28,5	L 64x6,4	34	162,43	34	0,21
3	40,5	L 64x6,4	29	162,43	29	0,18
4	57,5	L 64x6,4	31	162,43	31	0,19

Tabla 7.30. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (3).

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones						
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Rotura A.Neta Cinturón		Ratio
				Rd	Ru	
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	
1	13,5	L 64x6,4	12	140,26	12	0,09
2	28,5	L 64x6,4	34	131,80	34	0,26
3	40,5	L 64x6,4	29	131,80	29	0,22
4	57,5	L 64x6,4	31	127,57	31	0,24

Tabla 7.31. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (4).

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones						
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Rotura Bloque Corte		Ratio
				Rd	Ru	
	[m]		[kN]	[kN]	[kN]	
1	13,5	L 64x6,4	12	128,58	12	0,09
2	28,5	L 64x6,4	34	171,55	34	0,20
3	40,5	L 64x6,4	29	171,55	29	0,17
4	57,5	L 64x6,4	31	193,04	31	0,16

Tabla 7.32. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (5).

Verificaciones en uniones de cinturones con cordones					
Cinturón N°	Nivel	Sección	N +	Ratio Final	Condición
1	13,5	L 64x6,4	12	0,09	Verifica
2	28,5	L 64x6,4	34	0,26	Verifica
3	40,5	L 64x6,4	29	0,22	Verifica
4	57,5	L 64x6,4	31	0,24	Verifica

Tabla 7.33. – Verificaciones en uniones de cinturones con cordones (6).

8. VERIFICACIÓN EN SERVICIO (ELS)

Se realiza la verificación de desplazamientos máximos del mástil de la antena, tanto en su altura total, como entre tramos, verificando que las distorsiones obtenidas sean menores al 3% (según lo solicita el CIRSOC 306 2018). Esto último fue garantizado en esta estructura.

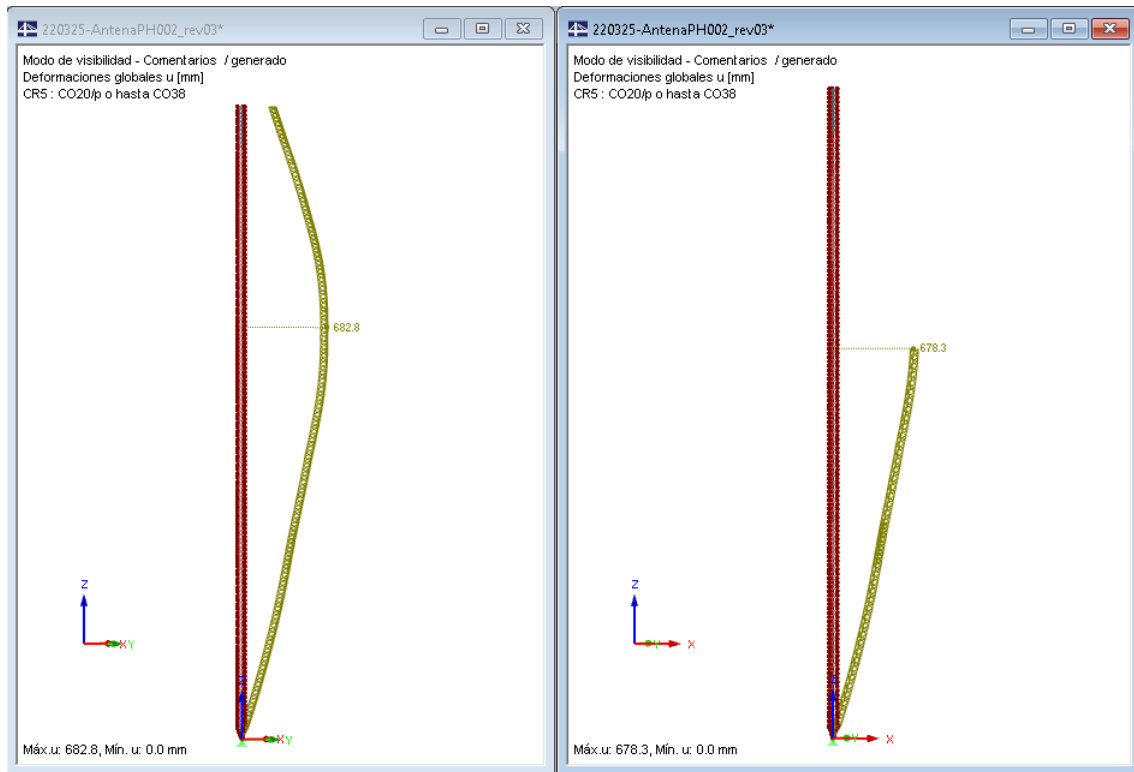


Figura 8.0. – Deformación máxima

Deformación Máxima: 678 mm

Altura de referencia: 54 m

Relación: 1.26 %

Deformación límite: 3 %

9. PROPUESTA DE REFUERZOS

9.1. INTRODUCCIÓN

Una vez realizado y entregado el diagnóstico de la estructura, la empresa solicitante, en función del resultado del mismo, procede a solicitar el cálculo de los refuerzos necesarios para que la torre verifique en su totalidad. Previo a ello, se consulta a la empresa los elementos disponibles en el mercado (chapas, perfiles, cables, etc.) y la forma en que se materializarán los refuerzos. En particular, se definió la materialización del refuerzo de un montante en los tramos donde fuese necesario, lo cuál se muestra en la siguiente figura a modo de ejemplo.

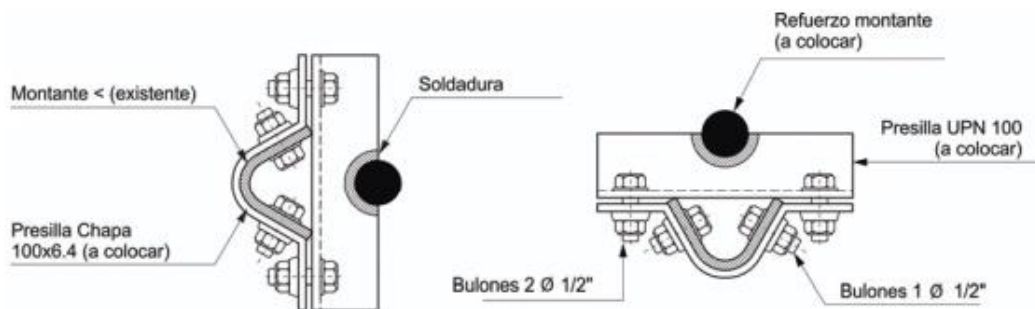


Figura 9.1. – Detalle de refuerzo de montantes.

9.2. CRITERIOS PARA EL CÁLCULO DE REFUERZO

A continuación, se citan los criterios propuestos por el CIRSOC 306 para el cálculo de los refuerzos. Vale aclarar que en la misma sección del reglamento se pueden consultar los criterios dispuestos para las tareas de remoción y reemplazo de piezas.

- Se deberá garantizar mediante piezas de rigidez adecuada que las fuerzas se distribuyan entre los miembros de las barras compuestas de acuerdo con las hipótesis del cálculo. Esto deberá tenerse particularmente en cuenta cuando se refuercen montantes, donde las uniones con las diagonales y los cinturones de riendas suelen quedar vinculados únicamente al montante original, por lo que la transferencia de fuerzas hacia el refuerzo no es directa.
- La relación entre la capacidad resistente de la sección compuesta y la capacidad resistente de la sección original será, como máximo, igual a 1,50.
- Si el área proyectada del refuerzo supera el 5% del área proyectada total de la cara de la estructura en el segmento considerado, se deberá calcular nuevamente la estructura para las cargas debidas al área incrementada.

9.3. RESUMEN DE REFUERZOS PROPUESTOS

Para que la estructura sea apta según la normativa vigente se proponen realizar las siguientes modificaciones y seguir las siguientes recomendaciones.

- 1 – Cruzar diagonales (diagonalizar doble) con perfiles L38x3.2 (Calidad F24).
 - a) Desde +36,00m a +48,00m
 - b) Desde +54,00m a +66,00m
- 2 – Aumentar la sección de las diagonales de L38x3,2 a L44x3,2 (Calidad F24).
 - a) Desde +72,00m a +78,00m.
- 3 – Reforzar las riendas, aumentando el diámetro de 12,5mm a 16mm (Rango de resistencia 120/140 kg/mm²).
 - a) En la cota +40,50m.
- 4 - Refuerzo de montantes colocando H°R° Ø32mm (F24) con presillas cada 60cm.
 - a) Desde 30,00m a +78,00m.
- 5 – No será necesario cambiar los elementos de unión.
- 6 – Controlar el tesado inicial de riendas a 900 kg/cm².

9.4. VERIFICACIONES LUEGO DE REFUERZOS

9.4.1. RESUMEN DE RESULTADOS

Resumen y conclusiones			
Conjunto	Elemento	Status	Condición
Barras y cables	Cordones	●	Verifica
	Diagonales	●	Verifica
	Estrella	●	Verifica
	Cinturones	●	Verifica
	Refuerzos de cordones	●	Verifica
	Riendas	●	Verifica
Uniones	Empalme Cordón-Cordón	●	Verifica
	Unión Diagonal-Cordón	●	Verifica
	Unión Cinturón-Cordón	●	Verifica

Tabla 9.0. – Resumen y conclusiones.

9.4.2. CORDONES

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	Material	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)
	[m]			[mm]	[mm]	[cm²]
0	0 a 1,6	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
1	1,6 a 6	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
2	6 a 12	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
3	12 a 18	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
4	18 a 24	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
5	24 a 30	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
6	30 a 36	< 190x9,5	F36	190	9,5	18,05
7	36 a 42	< 190x6,4	F36	190	6,4	12,16
8	42 a 48	< 190x6,4	F36	190	6,4	12,16
9	48 a 54	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
10	54 a 60	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
11	60 a 66	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
12	66 a 72	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
13	72 a 78	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
14	78 a 84	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24
15	84 a 90	< 160x6,4	F36	160	6,4	10,24

Tabla 9.1. – Verificaciones en cordones (1).

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	Área neta (An)	Coef. retraso cortante (U)	Área efectiva (Af)	Longitud de pandeo
	[m]		[cm²]	[Ad.]	[cm²]	[m]
0	0 a 1,6	< 190x9,5	14,65	1	14,65	0,60
1	1,6 a 6	< 190x9,5	14,65	1	14,65	1,20
2	6 a 12	< 190x9,5	14,65	1	14,65	1,20
3	12 a 18	< 190x9,5	14,65	1	14,65	1,20
4	18 a 24	< 190x9,5	14,65	1	14,65	1,20
5	24 a 30	< 190x9,5	14,65	1	14,65	0,60
6	30 a 36	< 190x9,5	14,65	1	14,65	1,20
7	36 a 42	< 190x6,4	9,87	1	9,87	1,20
8	42 a 48	< 190x6,4	9,87	1	9,87	1,20
9	48 a 54	< 160x6,4	7,95	1	7,95	1,20
10	54 a 60	< 160x6,4	7,95	1	7,95	1,20
11	60 a 66	< 160x6,4	7,95	1	7,95	1,20
12	66 a 72	< 160x6,4	7,95	1	7,95	0,60
13	72 a 78	< 160x6,4	7,95	1	7,95	0,60
14	78 a 84	< 160x6,4	7,95	1	7,95	1,20
15	84 a 90	< 160x6,4	7,95	1	7,95	0,60

Tabla 9.2. – Verificaciones en cordones (2).

Verificaciones en cordones						
N° Tramo	Tramo	Sección	N +	N -	Ratio	Condición
	[m]		[kN]	[kN]		
0	0 a 1,6	< 190x9,5	-	-244	0,90	Verifica
1	1,6 a 6	< 190x9,5	-	-251	0,86	Verifica
2	6 a 12	< 190x9,5	-	-264	0,81	Verifica
3	12 a 18	< 190x9,5	-	-257	0,81	Verifica
4	18 a 24	< 190x9,5	-	-249	0,78	Verifica
5	24 a 30	< 190x9,5	-	-239	0,80	Verifica
6	30 a 36	< 190x9,5	-	-224	0,82	Verifica
7	36 a 42	< 190x6,4	-	-139	0,99	Verifica
8	42 a 48	< 190x6,4	-	-124	0,62	Verifica
9	48 a 54	< 160x6,4	6	-132	0,95	Verifica
10	54 a 60	< 160x6,4	34	140	0,83	Verifica
11	60 a 66	< 160x6,4	61	-150	0,78	Verifica
12	66 a 72	< 160x6,4	62	-157	0,96	Verifica
13	72 a 78	< 160x6,4	56	138	0,99	Verifica
14	78 a 84	< 160x6,4	55	136	0,99	Verifica
15	84 a 90	< 160x6,4	5	-101	0,71	Verifica

Tabla 9.3. – Verificaciones en cordones (3).

9.4.3. REFUERZOS DE MONTANTES

Verificaciones en refuerzos de montantes						
N° Tramo	Tramo	Sección	Material	Distancia entre presillas	N +	N -
	[m]			[m]	[kN]	[kN]
6	30 a 36	H°R°Ø32mm	F24	0,60	-	-76
7	36 a 42	H°R°Ø32mm	F24	0,60	-	-91
8	42 a 48	H°R°Ø32mm	F24	0,60	-	-90
9	48 a 54	H°R°Ø32mm	F24	0,60	15	-109
10	54 a 60	H°R°Ø32mm	F24	0,60	38	-109
11	60 a 66	H°R°Ø32mm	F24	0,60	62	-127
12	66 a 72	H°R°Ø32mm	F24	0,60	63	-130
13	72 a 78	H°R°Ø32mm	F24	0,60	35	-110

Tabla 9.4. – Verificaciones en refuerzos de montantes (1).

Verificaciones en refuerzos de montantes				
N° Tramo	Tramo	Sección	Ratio	Condición
	[m]			
6	30 a 36	H°R°Ø32mm	0,62	Verifica
7	36 a 42	H°R°Ø32mm	0,78	Verifica
8	42 a 48	H°R°Ø32mm	0,73	Verifica
9	48 a 54	H°R°Ø32mm	0,83	Verifica
10	54 a 60	H°R°Ø32mm	0,83	Verifica
11	60 a 66	H°R°Ø32mm	0,96	Verifica
12	66 a 72	H°R°Ø32mm	0,99	Verifica
13	72 a 78	H°R°Ø32mm	0,90	Verifica

Tabla 9.5. – Verificaciones en refuerzos de montantes (2).

9.4.4. DIAGONALES

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	Material	Lado	Espesor	Área bruta (Ag)
	[m]			[mm]	[mm]	[cm²]
0	0 a 1,6	L44x4,8	F-24	44	4,8	3,99
1	1,6 a 6	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
2	6 a 12	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
3	12 a 18	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
4	18 a 24	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
5	24 a 30	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
6	30 a 36	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
7	36 a 42	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
8	42 a 48	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
9	48 a 54	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
10	54 a 60	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
11	60 a 66	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
12	66 a 72	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
13	72 a 78	L44x3,2	F-24	44	3,2	2,71
14	78 a 84	L38x3,2	F-24	38	3,2	2,33
15	84 a 90	L44x3,2	F-24	44	3,2	2,71

Tabla 9.6. – Verificaciones en diagonales (1).

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	Área neta (An)	Coefficiente retraso cortante (U)	Área efectiva (Af)	Longitud de pandeo
	[m]		[cm²]	[Ad.]	[cm²]	[m]
0	0 a 1,6	L44x4,8	3,29	0,75	2,47	1,25
1	1,6 a 6	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
2	6 a 12	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
3	12 a 18	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
4	18 a 24	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
5	24 a 30	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
6	30 a 36	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
7	36 a 42	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
8	42 a 48	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
9	48 a 54	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
10	54 a 60	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
11	60 a 66	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
12	66 a 72	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
13	72 a 78	L44x3,2	2,24	0,75	1,68	1,25
14	78 a 84	L38x3,2	1,86	0,75	1,39	1,25
15	84 a 90	L44x3,2	2,24	0,75	1,68	1,25

Tabla 9.7. – Verificaciones en diagonales (2).

Verificaciones en diagonales						
N° Tramo	Tramo	Sección	N +	N -	Ratio	Condición
	[m]		[kN]	[kN]		
0	0 a 1,6	L44x4,8	-18	-16	0,49	Verifica
1	1,6 a 6	L38x3,2	14	-14	0,97	Verifica
2	6 a 12	L38x3,2	10	-10	0,69	Verifica
3	12 a 18	L38x3,2	8	-9	0,60	Verifica
4	18 a 24	L38x3,2	12	-12	0,82	Verifica
5	24 a 30	L38x3,2	9	-9	0,63	Verifica
6	30 a 36	L38x3,2	7	-6	0,39	Verifica
7	36 a 42	L38x3,2	12	-12	0,79	Verifica
8	42 a 48	L38x3,2	11	-12	0,33	Verifica
9	48 a 54	L38x3,2	15	14	0,97	Verifica
10	54 a 60	L38x3,2	13	-12	0,86	Verifica
11	60 a 66	L38x3,2	11	-11	0,32	Verifica
12	66 a 72	L38x3,2	11	-11	0,76	Verifica
13	72 a 78	L44x3,2	19	-18	0,73	Verifica
14	78 a 84	L38x3,2	12	-12	0,83	Verifica
15	84 a 90	L44x3,2	17	-17	0,70	Verifica

Tabla 9.8. – Verificaciones en diagonales (3).

9.4.5. RIENDAS

Verificaciones en riendas						
Nivel de Rienda	Tipo de cordón	Diámetro del cable según informe	Diámetro del cable para cálculo	Sección Metálica	Tracción máxima del cable mayorado s/ cálculo	Carga de rotura - Rango 120/140 s/ fabricante
[m]		[mm]	[mm]	[mm ²]	[kN]	[kN]
13,50	1x7	7,50	6,62	34,37	17	40
28,50	1x19	12,50	10,89	93,12	60	103
40,50	1x19	16,00	13,94	152,57	62	169
57,50	1x19	16,00	13,94	152,57	86	169
73,00	1x19	16,00	13,94	152,57	62	169
85,00	1x19	19,00	16,56	215,50	60	239

Tabla 9.9. – Verificaciones en riendas (1).

Verificaciones en riendas						
Nivel de Rienda	Tipo de cordón	Diámetro del cable según informe	Coefficiente de minoración resistencia s/ CIRSOC	Resistencia de diseño ΦT_g	Ratio	Condición
[m]		[mm]		[kN]		
13,50	1x7	7,50	0,60	24,00	0,71	Verifica
28,50	1x19	12,50	0,60	61,80	0,97	Verifica
40,50	1x19	16,00	0,60	101,40	0,61	Verifica
57,50	1x19	16,00	0,60	101,40	0,85	Verifica
73,00	1x19	16,00	0,60	101,40	0,61	Verifica
85,00	1x19	19,00	0,60	143,40	0,42	Verifica

Tabla 9.10. – Verificaciones en riendas (2).

9.4.6. DIAGONAL-CORDÓN

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Sección	N +	N -	Corte en Bulones		Ratio
				Rd	Ru	
[m]		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
0 a 1,6	L44x4,8	-18,00	16,00	78,38	16,00	0,20
1,6 a 6	L38x3,2	14,00	14,00	78,38	14,00	0,18
6 a 12	L38x3,2	10,00	10,00	78,38	10,00	0,13
12 a 18	L38x3,2	8,00	9,00	78,38	9,00	0,11
18 a 24	L38x3,2	12,00	12,00	78,38	12,00	0,15
24 a 30	L38x3,2	9,00	9,00	78,38	9,00	0,11
30 a 36	L38x3,2	7,00	6,00	78,38	7,00	0,09
36 a 42	L38x3,2	12,00	12,00	78,38	12,00	0,15
42 a 48	L38x3,2	11,00	12,00	78,38	12,00	0,15
48 a 54	L38x3,2	15,00	-14,00	78,38	15,00	0,19
54 a 60	L38x3,2	13,00	12,00	78,38	13,00	0,17
60 a 66	L38x3,2	11,00	11,00	78,38	11,00	0,14
66 a 72	L38x3,2	11,00	11,00	78,38	11,00	0,14
72 a 78	L38x3,2	19,00	18,00	78,38	19,00	0,24
78 a 84	L38x3,2	12,00	12,00	78,38	12,00	0,15
84 a 90	L44x3,2	17,00	17,00	78,38	17,00	0,22

Tabla 9.11. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (1).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Aplastamiento		Ratio	Fluencia A.Bruta Diagonal		Ratio
	Rd	Ru		Rd	Ru	
[m]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	
0 a 1,6	28,85	16,00	0,55	84,46	-18,00	-0,21
1,6 a 6	19,23	14,00	0,73	49,27	14,00	0,28
6 a 12	19,23	10,00	0,52	49,27	10,00	0,20
12 a 18	19,23	9,00	0,47	49,27	8,00	0,16
18 a 24	19,23	12,00	0,62	49,27	12,00	0,24
24 a 30	19,23	9,00	0,47	49,27	9,00	0,18
30 a 36	19,23	7,00	0,36	49,27	7,00	0,14
36 a 42	19,23	12,00	0,62	49,27	12,00	0,24
42 a 48	19,23	12,00	0,62	49,27	11,00	0,22
48 a 54	19,23	15,00	0,78	49,27	15,00	0,30
54 a 60	19,23	13,00	0,68	49,27	13,00	0,26
60 a 66	19,23	11,00	0,57	49,27	11,00	0,22
66 a 72	19,23	11,00	0,57	49,27	11,00	0,22
72 a 78	19,23	19,00	0,99	57,39	19,00	0,33
78 a 84	19,23	12,00	0,62	49,27	12,00	0,24
84 a 90	19,23	17,00	0,88	57,39	17,00	0,30

Tabla 9.12. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (2).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones						
Tramo	Rotura A.Neta Diagonal		Ratio	Rotura Bloque Corte		Ratio
	Rd	Ru		Rd	Ru	
[m]	[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	
0 a 1,6	68,43	-18,00	-0,26	42,20	-18,00	-0,43
1,6 a 6	38,69	14,00	0,36	25,47	14,00	0,55
6 a 12	38,69	10,00	0,26	25,47	10,00	0,39
12 a 18	38,69	8,00	0,21	25,47	8,00	0,31
18 a 24	38,69	12,00	0,31	25,47	12,00	0,47
24 a 30	38,69	9,00	0,23	25,47	9,00	0,35
30 a 36	38,69	7,00	0,18	25,47	7,00	0,27
36 a 42	38,69	12,00	0,31	25,47	12,00	0,47
42 a 48	38,69	11,00	0,28	25,47	11,00	0,43
48 a 54	38,69	15,00	0,39	25,47	15,00	0,59
54 a 60	38,69	13,00	0,34	25,47	13,00	0,51
60 a 66	38,69	11,00	0,28	25,47	11,00	0,43
66 a 72	38,69	11,00	0,28	25,47	11,00	0,43
72 a 78	46,69	19,00	0,41	28,13	19,00	0,68
78 a 84	38,69	12,00	0,31	25,47	12,00	0,47
84 a 90	46,69	17,00	0,36	28,13	17,00	0,60

Tabla 9.13. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (3).

Verificaciones en uniones de diagonales con cordones					
Tramo	Sección	N +	N -	Ratio Final	Condición
[m]		[kN]	[kN]		
0 a 1,6	L44x4,8	-18,00	16,00	0,55	Verifica
1,6 a 6	L38x3,2	14,00	14,00	0,73	Verifica
6 a 12	L38x3,2	10,00	10,00	0,52	Verifica
12 a 18	L38x3,2	8,00	9,00	0,47	Verifica
18 a 24	L38x3,2	12,00	12,00	0,62	Verifica
24 a 30	L38x3,2	9,00	9,00	0,47	Verifica
30 a 36	L38x3,2	7,00	6,00	0,36	Verifica
36 a 42	L38x3,2	12,00	12,00	0,62	Verifica
42 a 48	L38x3,2	11,00	12,00	0,62	Verifica
48 a 54	L38x3,2	15,00	-14,00	0,78	Verifica
54 a 60	L38x3,2	13,00	12,00	0,68	Verifica
60 a 66	L38x3,2	11,00	11,00	0,57	Verifica
66 a 72	L38x3,2	11,00	11,00	0,57	Verifica
72 a 78	L38x3,2	19,00	18,00	0,99	Verifica
78 a 84	L38x3,2	12,00	12,00	0,62	Verifica
84 a 90	L44x3,2	17,00	17,00	0,88	Verifica

Tabla 9.14. – Verificaciones en uniones de diagonales con cordones (4).

10. COMENTARIOS FINALES

Esta práctica supervisada me dio la posibilidad de adquirir nuevos conocimientos en materia de diseño estructural como así también afianzar muchos conceptos recibidos durante el cursado de la carrera. Además, destacar la importancia de formar un criterio profesional y práctico para resolver problemas o situaciones que se presentan en la etapa de diseño.

Por otro lado, logré incursionar en un software de cálculo estructural y sus múltiples herramientas de modelado y diseño. Así mismo, comprendí que resulta necesario emplear constantemente conocimientos técnicos y controlar “números gordos” u órdenes de magnitud a lo hora de utilizar un software, ya que, una mala utilización del mismo nos podría generar errores de diseño groseros.

Por último, y no menos importante, hacer mención a lo imprescindible que es formar equipos de trabajo para organizar las tareas, pedir apoyo en caso de requerirlo y contar con otro punto de vista o idea.

11. BIBLIOGRAFÍA

[1] López Llanusa, Alejandro & Parnás, Vivian B. & Martín Rodríguez, Patricia & Carrasco, Abel & Fernández, Ingrid. (2012). *Monografía metodología de cálculo para torres atirantada*.

[2] Cohen, E. and H. Perrin, *Design of Multileveled Guyed Towers: Structural Analysis*. Journal of the Structural Division, ASCE, 1957, b. Vol 83 (Paper Number 1355).

[3] Goldberg, J.E. and V.J. Meyers, *A Study of Guyed Towers*. Journal of the Structural Division, 1965.

[4] Shears, M. and R.W. Clough, *Static and Dynamic Behaviour of Guyed Masts*, in Report No. 68.6 1968, Department of Civil Engineering, University of California: Berkeley, USA.

[5] Kahla, N.B., *Influence of star mounts on guyed towers*. Computers & Structures, 1995. Vol. 54(No. 5).

[6] Wahba, Y., M. Madugula, and G. Monforton, *Evaluation of non-linear analysis of guyed antenna towers*. Computers and Structures 1998. Vol 68.



[7] Davenport, A.G., *Gust loading factors*. Journal of Structural Division. ASCE, 1967. Vol. 93.

[8] Solari, G., *Analytical estimation of the alongwind response of structures*. Journal of Wind Engennering and Aerodynamic 1983.

[9] Holmes, J.D., *Along-wind response towers III. Effective distributions of lattice load*. Engineering Structures, 1996. Vol. 18(No. 7).

- [10] CIRSOC-306, *Estructuras de acero para antenas* 2018. INTI-CIRSOC, Argentina.
- Parnás, V. E., & Lorenzo, I. F. (2011). *No linealidad geométrica en torres atirantadas*. *Revista Cubana de Ingeniería*, 2(3), 37-48.
- López Llanusa, Alejandro & Martín Rodríguez, Patricia & Parnás, Vivian B. (2012). *Influencia de la presencia de las antenas en torres de telecomunicaciones bajo carga de viento*.
- Camarena Cervantes, J. R. (2018). *Guía para análisis y diseño estructural para torres de telecomunicación*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de ingeniería.
- López Hernández, S. A. (2016). *Diseño de torres de telecomunicación*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.
- Telecommunications Industry Association, “*Structural standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures*”, TIA/EIA-222-G. 2005: EUA.

12. ANEXO 1 – INFORME DE RELEVAMIENTO

					
INFORME MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL					
CLIENTE:		AMX PARAGUAY			
Nombre del Sitio		LOLITA		Cell ID	PH00002
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA	
Depto.	PRESIDENTE HAYES	Tipo de Estructura Sobre Terreno		ARRIOSTRADA	
Marca	GN	Altura de la Estructura (m)		90,00	
RESULTADO DE AUDITORIA:			CON CORRECTIVOS PLANIFICADOS		
OBSERVACIONES:					
AGREGAR TULIPA Y LÁMPARA + AGREGAR PAT EN ANCLAJES					
Elaboración del Informe					
Revisión	Descripción	Fecha	Relevo	Ejecuto	Reviso
①		07-03-2022	NEI	SS	PD
②					
③					
Aprobación del Informe					
Profesional		Fecha	Firma		
Ing. Civil: Pablo Dahbar - M.P. 4899/X		07-03-2022			



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME GLOBAL DEL SITIO

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH0002	Fecha Visita	08-02-2022	
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevé	GUSTAVO MACEDA		Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNM (m)		Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

Dimensión (m)	Ahucamiento (S/N)	Base Central			Montante			Unión de Tramos (Tildar)	
		Perno de Anclaje a Pata Cant.	Ø (In)	PAT (S/N)	Estado (R/R/M)	Ch. Plegada	Caño	Macizo	Cubrejunta
0,75X0,74	N	1	1	S	B	X			X

Pie de Rienda (Adent. a Abuer.)	Ahucamiento (S/N)	Estado (R, B, M)		PAT (S/N)	Material (Tildar)		Agujeros		
		Oxidación	Pintura		Placa	Manta Ray	Cantidad	Ø (mm)	Libres (Cant.)
A	1º	N		S	X		10	34,9	2
	2º	N		S	X		10	34,9	2
	3º	N		S	X		10	34,9	2
	4º								
B	1º								
	2º								
	3º								
	4º								
C	1º								
	2º								
	3º								
	4º								

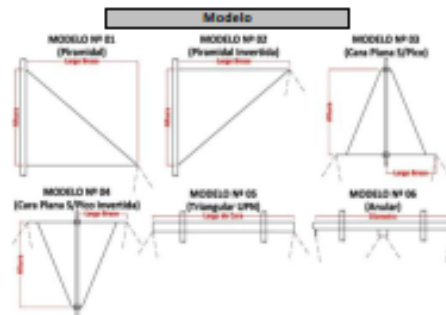
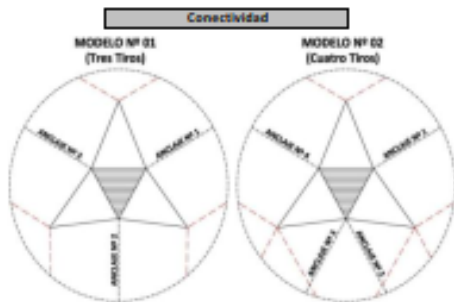
Pie de Rienda (Adent. a Abuer.)	Dimensión (m)	Material (Tildar)		Desnivel (S/N)	Estado (R/R/M)
		Rural	Olimpico		
A	1º				
	2º				
	3º				
	4º				
B	1º				
	2º				
	3º				
	4º				
C	1º				
	2º				
	3º				
	4º				

Ubicación Abajo a Arriba	Nivel (m)	Material (L/UPN/PL)	Estado (R/R/M)
2º	28,50	L	B
3º	40,50	L	B
4º	57,00	L	B
5º			
6º			
7º			
8º			
9º			
10º			
11º			
12º			

Ubicación Abajo a Arriba	Nivel (m)	Material (L/UPN)
2º	85,00	L
3º		
4º		

Conectividad Nº
1
1

Modelo Nº	Medidas			Estado (R/R/M)
	Brazo (m)	Alto (m)	Ø / Cara (m)	
1	1,60	1,20	1,10	B
1	1,60	1,20	1,10	B





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LA ESTRUCTURA

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022	
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA		Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASN (m)			Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)

Montante Tipo			Ancho Cara (Afuera/Afuera)	Distancia e/Gramiles	Paso de Diag.
Ch. Pleg.	Caño	Macizo	1100	1000	1200
X					

Rotula y Tramo			Montante				Unión de Tramos					Diagonal			Rompetramo			
Nº de Orden	Largo (m)	Color	Sección [mm]				Cubrejunta	Brida	Entre Tramo	Bulón			Material		En Cruz	Bulón	Material [mm]	
			Desarr.	Perim.	Diam.	Espes.				Carnt.	Ø (m)	Largo	Ala	Espes.			Carnt.	Ø (m)

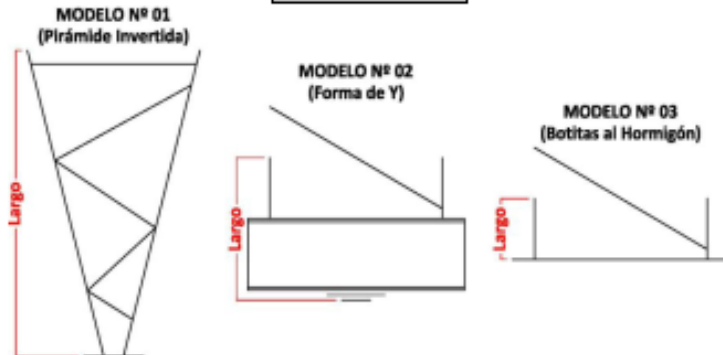
Rotula

1	1,60	N	190			9,5	CH	9,5	00y01	6	5/8	64	44,0	4,8		1	1/2	44
---	------	---	-----	--	--	-----	----	-----	-------	---	-----	----	------	-----	--	---	-----	----

Tramo

1ª	4,40	N	190			9,5	220	7,9	01y02	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
2ª	6,00	B	190			9,5	220	7,9	02y03	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
3ª	6,00	N	190			9,5	220	7,9	03y04	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
4ª	6,00	B	190			9,5	220	7,9	04y05	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
5ª	6,00	N	190			9,5	220	7,9	05y06	6	5/8	57	38,0	3,2	X	1	1/2	44
6ª	6,00	B	190			9,5	220	7,9	06y07	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
7ª	6,00	N	190			6,4	220	7,9	07y08	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
8ª	6,00	B	190			6,4	220	7,9	08y09	6	5/8	57	38,0	3,2		1	1/2	44
9ª	6,00	N	160			6,4	190	6,4	09y10	6	5/8	51	38,0	3,2		1	1/2	44
10ª	6,00	B	160			6,4	190	6,4	10y11	6	5/8	51	38,0	3,2		1	1/2	44
11ª	6,00	N	160			6,4	190	6,4	11y12	6	5/8	51	38,0	3,2		1	1/2	44
12ª	6,00	B	160			6,4	190	6,4	12y13	6	5/8	51	38,0	3,2	X	1	1/2	44
13ª	6,00	N	160			6,4	190	6,4	13y14	6	5/8	51	38,0	3,2	X	1	1/2	44
14ª	6,00	B	160			6,4	190	6,4	14y15	6	5/8	51	38,0	3,2		1	1/2	44
15ª	6,00	N	160			6,4			15y16				44,0	3,2	X	1	1/2	44
16ª									16y17									
17ª									17y18									
18ª									18y19									
19ª									19y20									
20ª																		

Modelos de Rotula y Pata



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LA RIENDAS Y MORSETERÍA



Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH0002	Fecha Visita	08-02-2022	
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA		Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNМ (m)	Rugosidad Terreno (U/I/W/I)		

ANCLAJE Nº 1 - A			
Pie (m)	45,00	Azimut (º)	60
Desnivel (m)		Pr[Kg/cm²]=	898

ANCLAJE Nº 2 - A			
Pie (m)	45,00	Azimut (º)	180
Desnivel (m)		Pr[Kg/cm²]=	898

ANCLAJE Nº 3 - A			
Pie (m)	45,00	Azimut (º)	300
Desnivel (m)		Pr[Kg/cm²]=	898

ANCLAJE Nº 4 - A			
Pie (m)		Azimut (º)	
Desnivel (m)		Pr[Kg/cm²]=	

Riendas			Tensor			Grillete		Prensacables		Guardacabo/Roldan		Tensión Riendas Real			Valor				
Nivel	Ø	Cant. Hilos	Terminación (X)	Estado	Ø (In)	Registro (S/N)	Estado	Ø (In)	Estado	Arriba (Cant.)	Abajo (Cant.)	Estado	Arriba (G/R)	Abajo (G/R)	Estado	Órden (Cant.)	Segun-dos	Presen. (Kg/cm²)	MC/PG (Kg/cm²)

Anclaje Nº 1 - A

Cinturón	13,50	7,5	7	X	B	1/2	S	S	B	3/4	B	3	3	B	G	G	B	6	3,62	2062	900
	28,50	12,5	19	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	4,31	1839	900
	40,50	12,5	19	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	6,08	1194	900
	57,50	16,0	19	X	B	7/8	S	S	B	7/8	B	4	4	B	G	G	B	6	7,51	1133	900
Estrélla	73,00	16,00	19	X	B	7/8	S	S	B	1	B	4	4	B	G	G	B	6	9,30	1019	900
																		6	9,12	1060	900
	85,00	19,00	19	X	B	1	S	S	B	1	B	4	4	B	R	R	B	6	10,14	1104	900
																		6	10,01	1133	900

Anclaje Nº 2 - A

Cinturón	13,50	7,50	7,00	X	B	1/2	S	S	B	3/4	B	3	3	B	G	G	B	6	3,65	2028	900
	28,50	12,50	19,00	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	5,50	1129	900
	40,50	12,50	19,00	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	6,34	1098	900
	57,50	16,00	19,00	X	B	7/8	S	S	B	7/8	B	4	4	B	G	G	B	6	7,14	1253	900
Estrélla	73,00	16,00	19,00	X	B	7/8	S	S	B	1	B	4	4	B	G	G	B	6	9,21	1039	900
																		6	9,09	1067	900
	85,00	19,00	19,00	X	B	1	S	S	B	1	B	4	4	B	R	R	B	6	9,95	1147	900
																		6	9,86	1168	900

Anclaje Nº 3 - A

Cinturón	13,50	7,50	7,00	X	B	1/2	S	S	B	3/4	B	3	3	B	G	G	B	6	3,75	1921	900
	28,50	12,50	19,00	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	5,30	1216	900
	40,50	12,50	19,00	X	B	3/4	S	S	B	3/4	B	4	4	B	G	G	B	6	6,08	1194	900
	57,50	16,00	19,00	X	B	7/8	S	S	B	7/8	B	4	4	B	G	G	B	6	7,75	1064	900
Estrélla	73,00	16,00	19,00	X	B	7/8	S	S	B	1	B	4	4	B	G	G	B	6	9,01	1086	900
																		6	9,15	1053	900
	85,00	19,00	19,00	X	B	1	S	S	B	1	B	4	4	B	R	R	B	3	4,95	1158	900
																		3	4,97	1149	900



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LAS ANTENAS

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)		Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)

Antena Nº	Tramo Nº	Nivel (m)	Tipo	Antenas		Tipo de Soporte	Ø Coaxil (In)	Azimut (º)
				Medidas (m)	Separación (m)			
1	9	49,50	HP	1,20	0,40	Y	1/4	210
2	10	59,00	HP	1,80	0,70	PP	1/4	100
3	12	67,50	RRU	0,50x0,55	0,30	Y	FO	
4	12	70,00	PN	1,30x0,17	1,50	TRANQUERA	FO	360
5	12	70,00	PN	1,30x0,17	1,50	TRANQUERA	FO	120
6	12	70,00	PN	1,30x0,17	1,50	TRANQUERA	FO	240
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49								
50								



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DEL ESTADO GENERAL DEL SITIO

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

Estructura		
Item	(S/N)	Estado
Fundación Base Central	S	B
Perno	S	B
Oxidación	N	
Verticalización	S	B
Tensión de Riendas	S	FLOJAS
Prensacables Riendas	S	B
PAT Estructura	S	B

Puesta a Tierra en Base Central		
Item	(S/N)	Estado
Cable	S	B
Jabalina	S	B
Placa de Medición	N	
Terminales	SOLDADURA	B

Puesta a Tierra en los Anclajes		
Item	(S/N)	Estado
Cable	N	
Jabalina	N	
PAT en las Riendas	N	

Sitio		
Item	(S/N)	Estado
Cerco Olímpico	S	B
Muro		
Portón	S	B
PAT Cerco Olímpico	S	B

Balizamiento		
Item	(S/N)	Estado
Trafo	S	B
Voltaje del Trafo	S	B
Caja de Trafo	S	B
Soporte Caja de Trafo	S	B
Fotocélula	S	B
Cable 2x2,50 mm	S	B
Fijaciones de Cable	S	B
Caja Intermedia	S	B
Soporte Balizas Intermedia	S	B
Soporte de Balizas a Tope	S	B
Tulipas	S	B
Lámparas	S	R
Led		

Varios		
Item	(S/N)	Estado
Ice Bridge / BPC	S	B
Escalera de Hombres	S	B
Salvacaídas	S	B
Pentapunta	S	B
Pertiga	S	B
PAT Pentapunta	S	B
Cerco en los Anclajes	N	

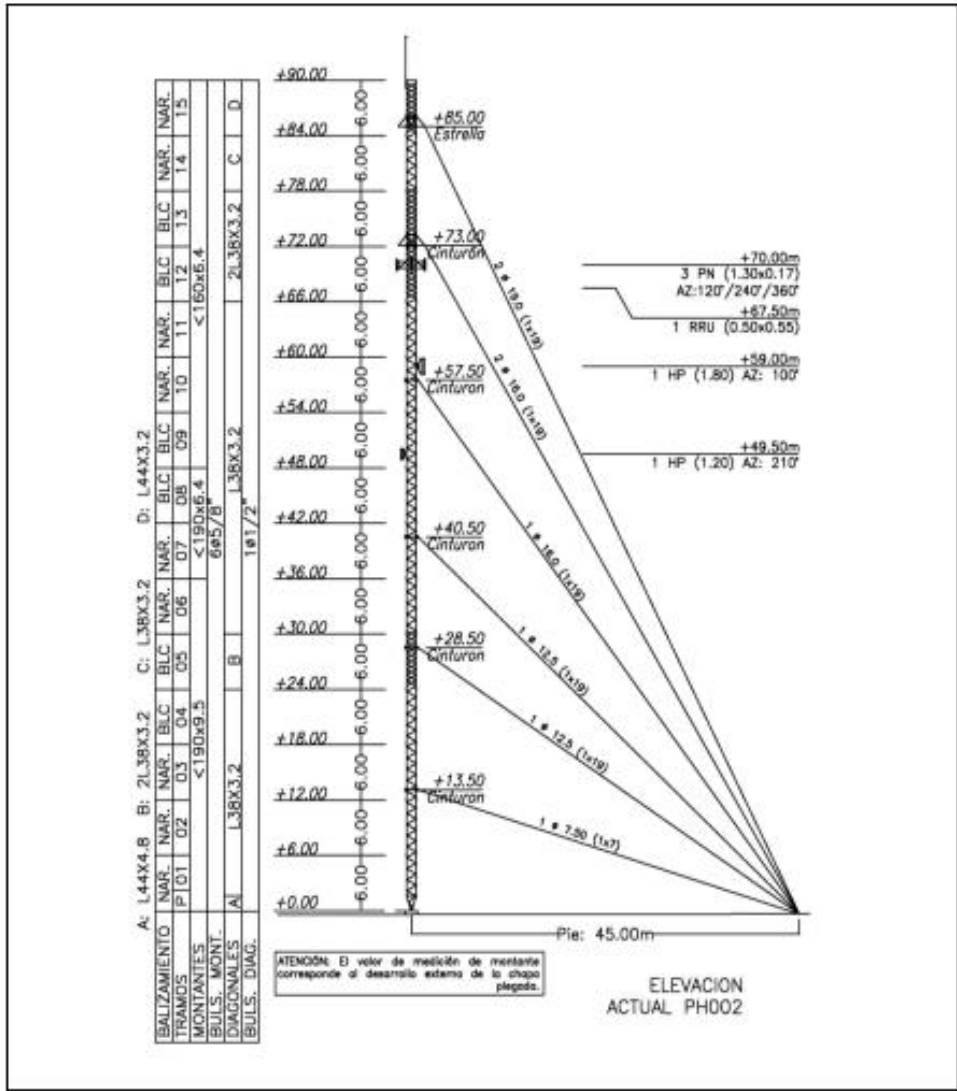
Notas, Aclaraciones, Recomendaciones y Observaciones

BALIZAS A TOPE FALTA UNA TULIPA COMPLETA
BALIZA INTERMEDIA BIEN
SE DETECTARON RIENDAS FLOJAS Y SE AJUSTARON.
NO TIENE PAT EN LOS TRES ANCLAJES



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LA ELEVACIÓN ACTUAL

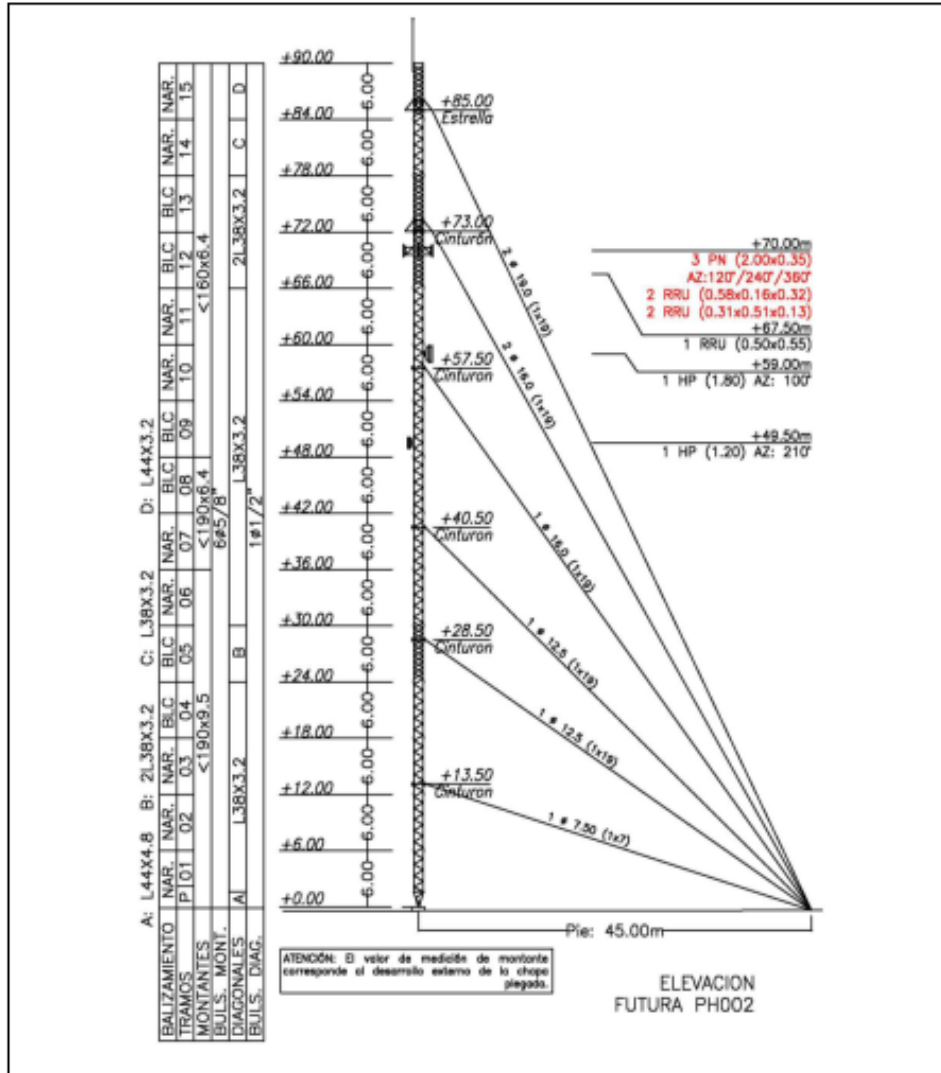
Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marsa de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LA ELEVACIÓN FUTURA

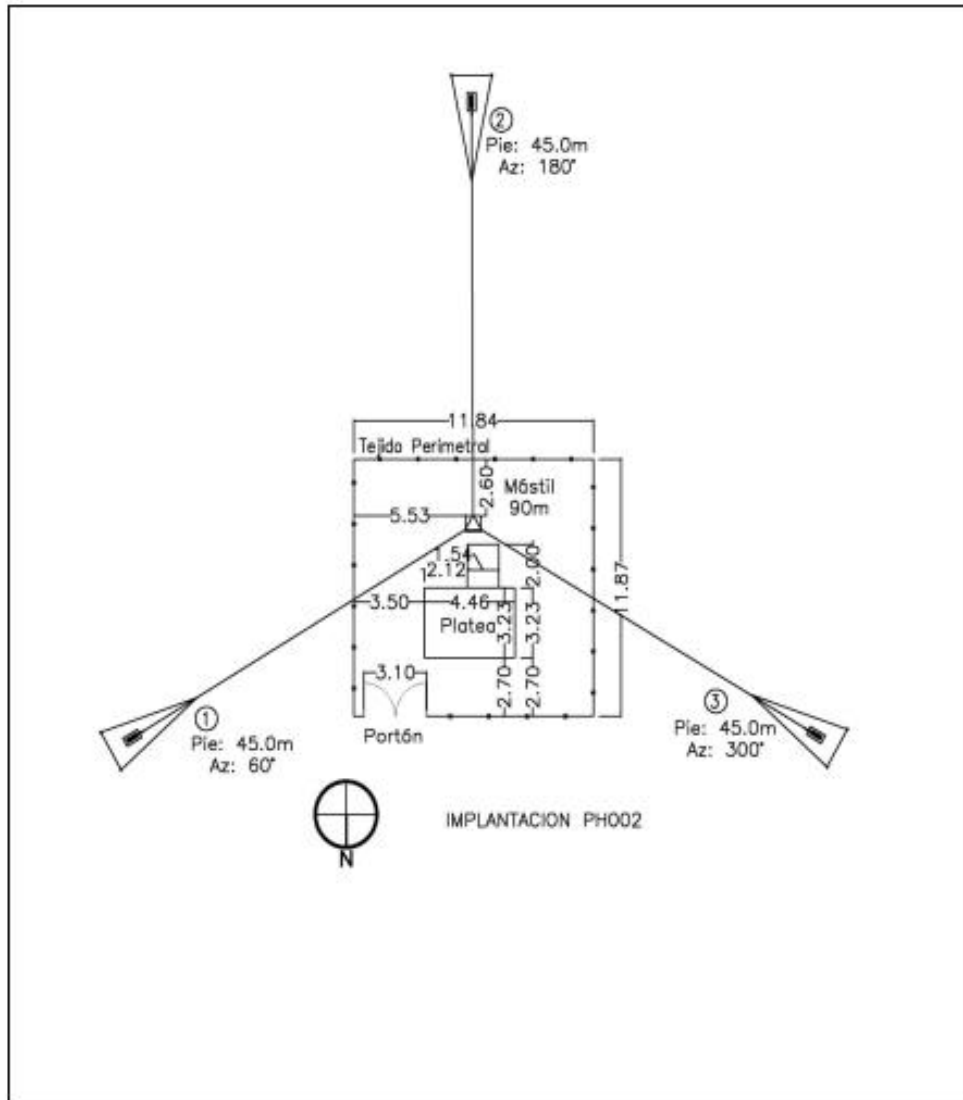
Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME DE LA IMPLANTACIÓN



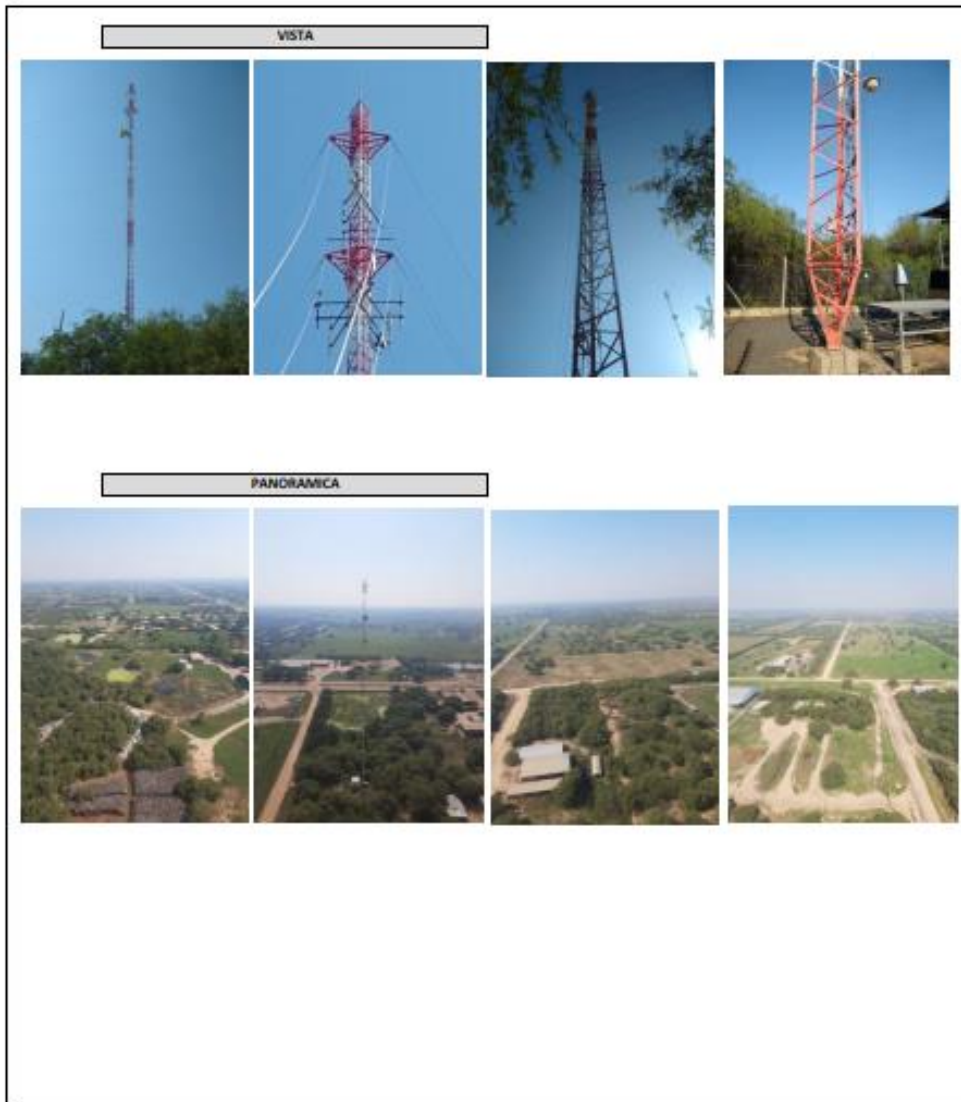
Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022	
Estructura sobre Terreno	ARROSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA		Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)		





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022	
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA		Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA		Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02889°	Longitud O.	59,66579°	ASNM (m)			Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO



Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

ICEBRIDGE



UNIONES Y MONTANTES



SALVACAIDAS Y PENTAPUNTA





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno 0/VI/IV	



CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO CORRECTIVOS



Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN		Altura de la Estructura (m)	90,00
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA		Depto.	PRESIDENTE HAYES
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner			Teléfono Cel.	
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

CORRECTIVOS REALIZADOS

RETENSADO DE RIENDAS FLOJAS





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO CORRECTIVOS

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Telefono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

CORRECTIVOS REALIZADOS

REAJUSTE DE ESTRUCTURA
AJUSTE DE BULONES EN ESLABON EN ANCLAJES





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO CORRECTIVOS





Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH0002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relató	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNIM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

CORRECTIVOS REALIZADOS

1- AGREGAR UNA TULIPA + LAMPARA A TOPE

2 AGREGAR PAT EN LOS TRES ANCLAJES COMPLETO





CHECK LIST PARA RELEVAMIENTO - INFORME FOTOGRÁFICO CORRECTIVOS

Nombre del Sitio	LOLITA		Cell ID	PH00002	Fecha Visita	08-02-2022
Estructura sobre Terreno	ARRIOSTRADA	Marca de la Estructura	GN	Altura de la Estructura (m)	90,00	
Dirección	LOLITA	Localidad	LOLITA	Depto.	PRESIDENTE HAYES	
Relevó	GUSTAVO MACEDA	Cell Owner		Teléfono Cel.		
Latitud S.	23,02888°	Longitud O.	59,66579°	ASNM (m)	Rugosidad Terreno (I/II/III/IV)	

CORRECTIVOS REALIZADOS

3- SE RECOMIENDA REALIZAR TRATAMIENTO ANTIOXIDO EN GUARDACABOS

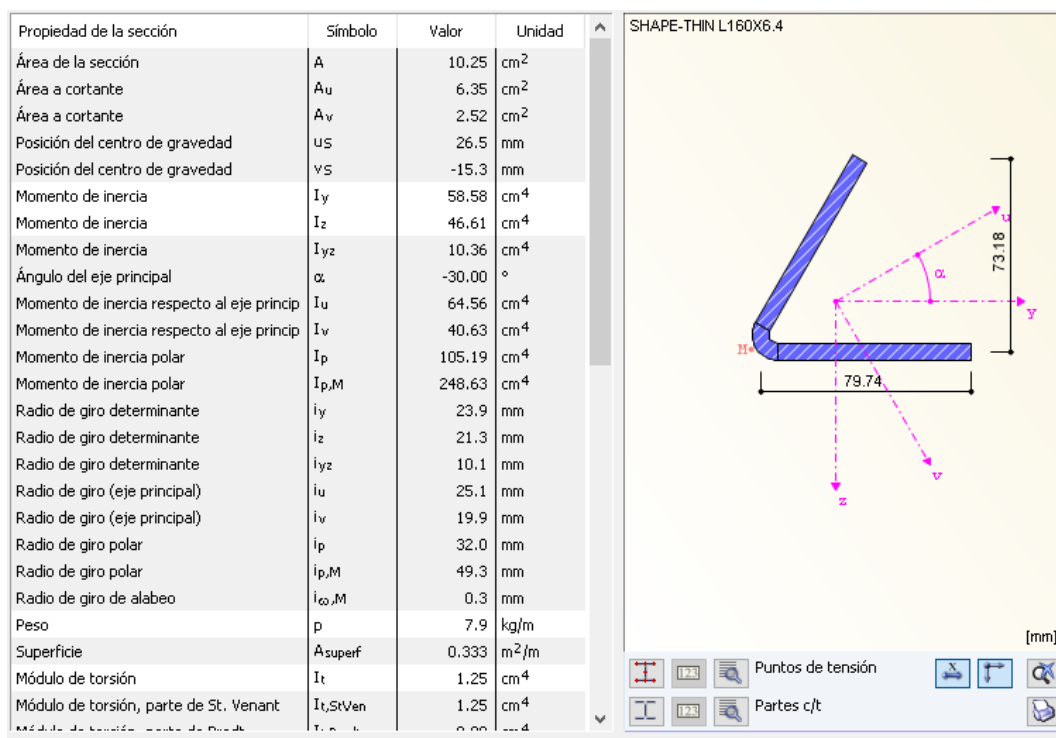
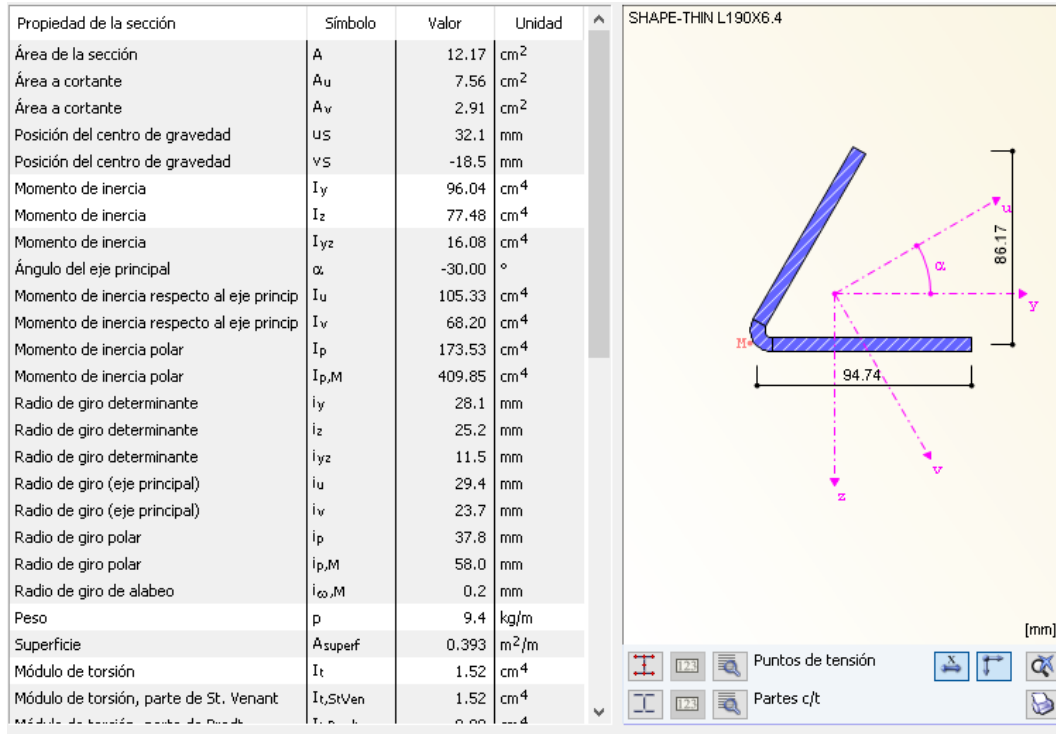


13. ANEXO 2 – MODELO Y CÁLCULOS

En este anexo se muestra información relativa al modelo de la estructura y los cálculos realizados mediante el software (Módulo RF-STEEL AISC – Diseño de barras de acero (LRFD ó ASD)).

SECCIONES (Cordones)



SECCIONES (Diagonales)

Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho	b	44.5	mm
Espesor de la sección	t	3.2	mm
Radio de empalme de raíz	r	3.7	mm
Radio de base	r1	2.1	mm
Área de la sección	A	2.73	cm ²
Área a cortante	A _u	1.15	cm ²
Área a cortante	A _v	1.13	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,u}	1.93	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,v}	1.93	cm ²
Distancia del eje neutro	e _y	12.3	mm
Momento de inercia	I _y	5.25	cm ⁴
Momento centrífugo de una superficie	I _{yz}	3.14	cm ⁴
Ángulo del eje principal	α	-45.00	°
Momento de inercia respecto al eje princip	I _u	8.39	cm ⁴
Momento de inercia respecto al eje princip	I _v	2.11	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	13.9	mm
Radio de giro determinante	i _{yz}	10.7	mm
Radio de giro (eje principal)	i _u	17.5	mm
Radio de giro (eje principal)	i _v	8.8	mm
Radio de giro polar	i _p	19.7	mm
Volumen	V	273.00	cm ³ /m
Peso	p	2.1	kg/m
Superficie	A _{superf}	0.175	m ² /m
Factor de sección	A _m /V	639.516	1/m
Módulo de torsión	I _t	0.09	cm ⁴
Distancia del centro de empalme al centro

L 44x44x3.2 | CANACSA-S16-01

[mm]

Puntos de tensión

Partes c/t

Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho	b	38.1	mm
Espesor de la sección	t	3.2	mm
Radio de empalme de raíz	r	3.7	mm
Radio de base	r1	2.1	mm
Área de la sección	A	2.32	cm ²
Área a cortante	A _u	0.98	cm ²
Área a cortante	A _v	0.96	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,u}	1.64	cm ²
Área plástica a cortante	A _{pl,v}	1.64	cm ²
Distancia del eje neutro	e _y	10.7	mm
Momento de inercia	I _y	3.20	cm ⁴
Momento centrífugo de una superficie	I _{yz}	1.90	cm ⁴
Ángulo del eje principal	α	-45.00	°
Momento de inercia respecto al eje princip	I _u	5.10	cm ⁴
Momento de inercia respecto al eje princip	I _v	1.30	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	11.8	mm
Radio de giro determinante	i _{yz}	9.0	mm
Radio de giro (eje principal)	i _u	14.8	mm
Radio de giro (eje principal)	i _v	7.5	mm
Radio de giro polar	i _p	16.7	mm
Volumen	V	232.00	cm ³ /m
Peso	p	1.8	kg/m
Superficie	A _{superf}	0.149	m ² /m
Factor de sección	A _m /V	642.189	1/m
Módulo de torsión	I _t	0.08	cm ⁴
Distancia del centro de empalme al centro

L 38x38x3.2 | CANACSA-S16-01

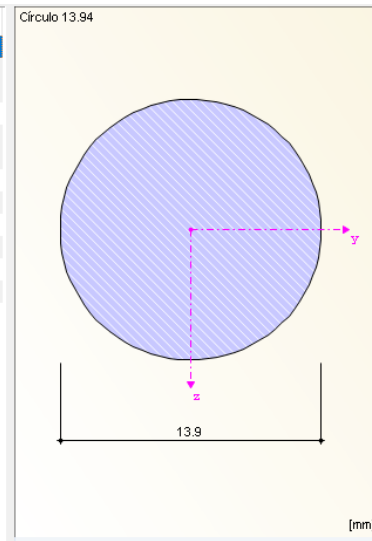
[mm]

Puntos de tensión

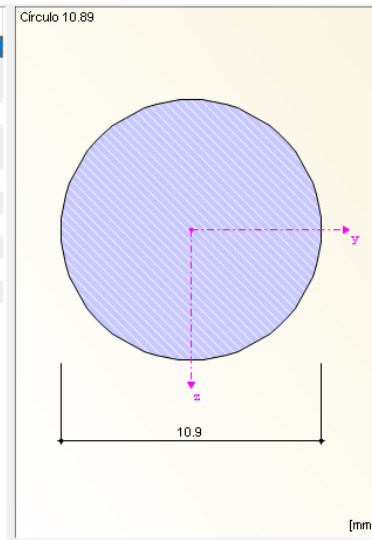
Partes c/t

SECCIONES (Riendas)

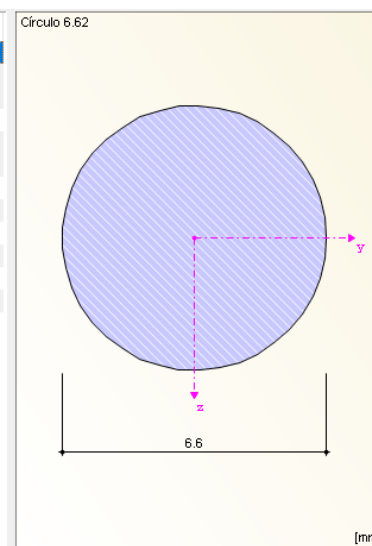
Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro	D	13.9	mm
Área de la sección	A	1.53	cm ²
Área a cortante	A _y	1.28	cm ²
Momento de inercia	I _y	0.19	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	3.5	mm
Radio de giro polar	i _p	4.9	mm
Peso	p	1.2	kg/m
Superficie	A _{superf}	0.044	m ² /m
Módulo de torsión	I _t	0.37	cm ⁴
Módulo resistente elástico	W _y	0.27	cm ³
Momento estático	S _{y,max}	0.23	cm ³
Módulo resistente plástico	W _{pl,y,max}	0.45	cm ³
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	c	
Curva de pandeo según EN	CP _{y,EN}	c	
Curva de pandeo según EN para acero S 460	CP _{y,EN,S46}	c	



Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro	D	10.9	mm
Área de la sección	A	0.93	cm ²
Área a cortante	A _y	0.78	cm ²
Momento de inercia	I _y	0.07	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	2.7	mm
Radio de giro polar	i _p	3.9	mm
Peso	p	0.7	kg/m
Superficie	A _{superf}	0.034	m ² /m
Módulo de torsión	I _t	0.14	cm ⁴
Módulo resistente elástico	W _y	0.13	cm ³
Momento estático	S _{y,max}	0.11	cm ³
Módulo resistente plástico	W _{pl,y,max}	0.22	cm ³
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	c	
Curva de pandeo según EN	CP _{y,EN}	c	
Curva de pandeo según EN para acero S 460	CP _{y,EN,S46}	c	



Propiedad de la sección	Símbolo	Valor	Unidad
Diámetro	D	6.6	mm
Área de la sección	A	0.34	cm ²
Área a cortante	A _y	0.29	cm ²
Momento de inercia	I _y	0.01	cm ⁴
Radio de giro determinante	i _y	1.7	mm
Radio de giro polar	i _p	2.3	mm
Peso	p	0.3	kg/m
Superficie	A _{superf}	0.021	m ² /m
Módulo de torsión	I _t	0.02	cm ⁴
Módulo resistente elástico	W _y	0.03	cm ³
Momento estático	S _{y,max}	0.02	cm ³
Módulo resistente plástico	W _{pl,y,max}	0.05	cm ³
Curva de pandeo (DIN 18800-2:2008-11)	CP _{y,DIN}	c	
Curva de pandeo según EN	CP _{y,EN}	c	
Curva de pandeo según EN para acero S 460	CP _{y,EN,S46}	c	



CÁLCULO: Long. de pandeo de cordones.

Barra núm.	Pandeo posible	Pandeo respecto al eje u		Pandeo respecto al eje v			Pandeo torsional			Pandeo lateral posible	
		Posible	K_u	L [m]	Posible	K_v	L [m]	posible	K_x		L [m]
1343	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1344	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1345	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1346	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1347	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1348	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1349	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1350	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1351	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1352	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1353	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1354	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1355	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1356	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1357	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1358	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1359	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1360	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1361	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1362	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1363	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1364	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1365	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1366	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1367	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1368	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1369	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1370	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1371	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1372	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1373	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1374	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1375	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1376	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1377	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1378	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1379	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1380	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1381	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1382	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1383	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1384	+	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	+	1,000	1,200	-
1385	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1386	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1387	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1391	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1392	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1393	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-

CÁLCULO: Long. de pandeo de **diagonales**.

Barra núm.	Pandeo posible	Pandeo respecto al eje u		Pandeo respecto al eje v			Pandeo torsional			Pandeo lateral posible	
		Posible	K_u	L [m]	Posible	K_v	L [m]	posible	K_x		L [m]
98	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
99	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
100	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
101	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
102	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
104	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
105	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
106	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
107	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
108	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
109	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
110	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
111	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
113	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
115	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
116	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
117	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
118	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
119	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
120	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
121	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
122	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
123	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
124	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
125	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
126	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
127	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
128	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
129	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
130	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
131	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
132	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
133	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
134	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
135	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
136	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
137	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
138	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
139	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
140	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
141	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
142	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
144	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
145	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
146	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
148	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
149	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
150	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
156	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-
157	+	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	+	1,000	1,250	-

Todas las barras tienen la misma longitud de pandeo, por ello se decide mostrar sólo algunas de ella, para evitar ser repetitivo en las tablas.

CÁLCULO: Catálogo de cables (tesum)



Sistema de Gestión
de la Calidad
ISO 9001:2008



Empresa Certificada

tesum

TABLAS DE RESISTENCIAS

Cordón galvanizado 1x7 (1+6)

Diámetro Comercial (mm)	Diámetro Práctico (mm)	Sección Metálica (mm ²)	Masa por metro (kg)	Alambre Exterior (mm)	Carga de Rotura Efectiva en kg, siendo el rango del alambre de :			
					80/100	120/140	140/160	160/180
03,00	03,00	05,50	0,045	1,00	440	640	730	
03,50	03,60	07,27	0,065	1,20	650	960	1.100	
04,00	03,90	09,29	0,076	1,30	735	1.090	1.260	
04,80	04,80	14,08	0,115	1,60	1.115	1.640	1.890	
05,00	05,10	15,89	0,130	1,70	1.250	1.790	2.070	
06,00	06,00	22,00	0,180	2,00	1.750	2.560	2.970	3.340
06,30	06,30	24,25	0,200	2,10	1.950	2.870	3.320	3.685
07,50	07,50	34,37	0,280	2,50	2.730	4.000	4.640	5.225
08,00	08,10	40,10	0,320	2,70	3.170	4.660	5.400	6.090
09,00	09,00	49,50	0,400	3,00	3.920	5.760	6.680	7.520
09,50	09,60	56,32	0,460	3,20	4.500	6.420	7.425	8.560
10,00	09,90	59,96	0,510	3,30	4.800	7.250	8.500	9.660
10,50	10,50	67,37	0,550	3,50	5.350	7.680	8.960	10.200
11,00	10,90	75,32	0,600	3,65	6.025	8.120	9.485	11.000
12,00	12,00	88,00	0,710	4,00	6.960	10.000	11.710	13.400
12,70	12,60	97,00	0,795	4,20	7.760	11.060	12.900	14.750

Cordón galvanizado 1x19 (1+6+12)

Diámetro Comercial (mm)	Diámetro Práctico (mm)	Sección Metálica (mm ²)	Masa por metro (kg)	Alambre Exterior (mm)	Carga de Rotura Efectiva en kg, siendo el rango del alambre de :			
					80/100	120/140	140/160	160/180
06,00	06,00	21,50	0,180	1,20	1.670	2.380	2.750	
06,30	06,30	23,28	0,190	1,25	1.790	2.580	2.970	
07,50	07,50	33,52	0,280	1,50	2.580	3.720	4.350	
09,00	09,00	48,27	0,390	1,80	3.700	5.360	6.200	
10,00	10,00	59,60	0,495	2,00	4.600	6.610	7.700	8.780
10,50	10,50	65,70	0,540	2,10	5.030	7.290	8.500	9.670
12,00	12,00	85,82	0,700	2,40	6.800	9.520	11.000	12.600
12,50	12,50	93,12	0,770	2,50	7.140	10.300	12.000	13.700
14,00	14,00	116,80	0,960	2,80		12.900	15.000	17.200
15,00	15,00	134,10	1,100	3,00		14.900	17.200	19.700
16,00	16,00	152,57	1,270	3,20		16.900	19.800	22.500
18,00	18,10	193,10	1,600	3,60		21.400	25.000	28.500
19,00	19,10	215,50	1,750	3,80		23.900	27.500	31.500
20,00	20,10	238,40	1,960	4,00		26.400	31.000	35.000

CÁLCULO: Long. de pandeo de estrellas antirotoras.

Barra núm.	Pandeo posible	Pandeo respecto al eje u		Pandeo respecto al eje v			Pandeo torsional			Pandeo lateral posible	
		Posible	K_u	L [m]	Posible	K_v	L [m]	posible	K_x		L [m]
34	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
35	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
36	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
43	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
44	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
45	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
430	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
431	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
432	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
433	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
434	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
435	+	+	1,000	1,642	+	1,000	1,000	+	1,000	1,642	-
436	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
437	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
438	+	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	+	1,000	2,284	-
708	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
713	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
715	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
716	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
717	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
718	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
719	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
720	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
721	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
830	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
831	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
832	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
833	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
834	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
835	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
836	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
837	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
838	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
839	+	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	+	1,000	1,380	-
840	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
841	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
846	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-
848	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-
849	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
850	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
851	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-
852	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-

Barra núm.	Pandeo posible	Pandeo respecto al eje u		Pandeo respecto al eje v			Pandeo torsional			Pandeo lateral posible	
		Posible	K_u	L [m]	Posible	K_v	L [m]	posible	K_x		L [m]
863	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
864	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
865	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-
866	+	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	+	1,000	1,370	-
867	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
868	+	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	+	1,000	0,600	-
1158	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1159	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1160	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1161	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1162	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1163	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1316	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1317	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1318	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1319	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1320	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1321	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1322	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1323	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1324	+	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	+	1,000	1,089	-
1325	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1326	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
1327	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1331	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
1332	+	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	+	1,000	0,909	-
1333	+	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	+	1,000	0,918	-
1334	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1335	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1336	+	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	+	1,000	1,096	-
1337	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1338	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1339	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1340	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1341	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1342	+	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	+	1,000	1,243	-
1389	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-
1407	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-
1408	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-
1409	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-
1410	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-
1411	+	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	+	1,000	1,232	-

14. ANEXO 3 – VERIFICACIONES DE ELEMENTOS

Estados límites en **Cordón** de sección plegada 60° 160x6,4mm - Material F36 (Barra 1373 +60m a +66m)

Barra núm.	A	B	C	D	E
	Posición x [m]	Carga	Tensiones Razón		Cálculo según fórmula
1373	Sección núm. 12 - SHAPE-THIN L160x6.4				
	0.000	C08	0.01 ≤ 1	100	Esfuerzos internos insignificantes
	5.998	C012	0.24 ≤ 1	101	Capítulo D - Resistencia a tracción según D2
	2.999	C09	0.22 ≤ 1	111	Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje u según F2 - F12
	2.999	C07	0.28 ≤ 1	112	Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje v según F2 - F12
	3.599	C010	0.04 ≤ 1	164	Guía de cálculo núm. 9 - Barras asimétricas y otras sometidas a torsión y/o a esfuerzos cortantes
	4.799	C010	0.88 ≤ 1	301	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje u según E3
	4.799	C010	0.90 ≤ 1	302	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje y según E3
	4.799	C010	0.98 ≤ 1	311	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje v según E3
	4.799	C010	0.94 ≤ 1	312	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje z según E3
	4.799	C010	1.32 > 1	321	Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4
	2.999	C019	1.67 > 1	340	Capítulo H - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axil - según H2

Se realizan las verificaciones de forma analítica para los esfuerzos más determinantes.

Parámetros generales de la sección:

$$F_{yc} := 350 \text{ MPa} \quad F_{uc} := 520 \text{ MPa} \quad A_b := 10.25 \text{ cm}^2 \quad A_n := 8.20 \text{ cm}^2 \quad E := 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Solicitaciones:

$$T_r := 75.18 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a tracción necesaria})$$

$$P_r := 241.03 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a compresión necesaria})$$

$$M_{r,u} := 0.98 \text{ kN m} \quad (\text{Resistencia necesaria a flexión en "u"})$$

$$M_{r,v} := 0.99 \text{ kN m} \quad (\text{Resistencia necesaria a flexión en "v"})$$

$$V_{r,v} := 1.85 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a cortante necesaria en "v"})$$

$$V_{r,u} := 2.23 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a cortante necesaria en "u"})$$

Capítulo D - Resistencia a la tracción - según D2:

(Pág. 76 AISC 360)

a) Fluencia en tracción en la sección bruta: $\phi_{r1} := 0.90$

$$T_{c1} := F_{yc} \cdot A_b \cdot \phi_{r1} = 322.88 \text{ kN}$$

b) Rotura en tracción en la sección neta; $\phi_{r2} := 0.75$

$$T_{c2} := F_{uc} \cdot A_n \cdot \phi_{r2} = 319.80 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } T_{c1} > T_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje "u" según F2-F12:

(Pág. 116 AISC 360)

$$S_{uc} := 14.34 \text{ cm}^3 \quad (\text{Módulo resistente elástico})$$

$$\phi_b := 0.90 \quad (\text{Coef. e resistencia para flexión})$$

$$M_{du} := F_{yc} \cdot S_{uc} \cdot \phi_b = 4.52 \text{ kN m}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } M_{du} > M_{r,u} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje "v" según F2-F12:

(Pág. 116 AISC 360)

$$S_{vc} := 11.23 \text{ cm}^3 \quad (\text{Módulo resistente elástico})$$

$$\phi_b := 0.90 \quad (\text{Coef. e resistencia para flexión})$$

$$M_{dv} := F_{yc} \cdot S_{vc} \cdot \phi_b = 3.54 \text{ kN m}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } M_{dv} > M_{r,v} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "u" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,u} := 1.20 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_u := 25.1 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "u"})$$

$$k_u := 1$$

$$\lambda_u := \frac{k_u \cdot L_{eff,u}}{r_u} = 47.81 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 112.59$$

$$F_{e,u} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_u^2} = 86.36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr,u} := 0.658 \left(\frac{F_{yc}}{F_{e,u}} \right) \cdot F_{yc} = 29.54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d,u} := F_{cr,u} \cdot A_b \cdot \phi_c = 272.50 \text{ kN}$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d,u} > P_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "v" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,v} := 1.20 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_v := 19.9 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "v"})$$

$$k_v := 1$$

$$\lambda_v := \frac{k_v \cdot L_{eff,v}}{r_v} = 60.30 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 112.59$$

$$F_{e,v} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_v^2} = 54.28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr,v} := 0.658 \left(\frac{F_{yc}}{F_{e,v}} \right) \cdot F_{yc} = 26.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d,v} := F_{cr,v} \cdot A_b \cdot \phi_c = 246.51 \text{ kN}$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d,v} > P_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "y" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,y} := 1.20 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_y := 23.9 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "y"})$$

$$k_y := 1$$

$$\lambda_y := \frac{k_y \cdot L_{eff,y}}{r_y} = 50.21 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 112.59$$

$$F_{e.y} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = 78.30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.y} := 0.658 \left(\frac{F_{yc}}{F_{e.y}} \right) \cdot F_{yc} = 29.03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.y} := F_{cr.y} \cdot A_b \cdot \phi_c = 267.78 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.y} > P_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "z" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.z} := 1.20 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_z := 21.3 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "u"})$$

$$k_z := 1$$

$$\lambda_z := \frac{k_z \cdot L_{eff.z}}{r_z} = 56.34 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 112.59$$

$$F_{e.z} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} = 62.19 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.z} := 0.658 \left(\frac{F_{yc}}{F_{e.z}} \right) \cdot F_{yc} = 27.65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.z} := F_{cr.z} \cdot A_b \cdot \phi_c = 255.11 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.z} > P_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4:

(Pág. 84 y 85 AISC 360)

$$G := 7720 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de cortante})$$

$$F_{yc} := 35.00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Límite elástico})$$

$$I_{uc} := 64.56 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$I_{vc} := 40.63 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$C_{wc} := 0.17 \text{ cm}^6 \quad (\text{Constante de alabeo})$$

$$J_c := 1.25 \text{ cm}^4 \quad (\text{Módulo de torsión})$$

$$L_{ec} := 1.20 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz para pandeo torsional y flexional})$$

$$u0_c := 0.00 \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$v0_c := 37.4 \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$r0_c := 49.30 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro polar})$$

$$r0_{c2} := u0_c^2 + v0_c^2 + \left(\frac{I_{uc} + I_{vc}}{A_b} \right) = 2425.00 \text{ mm}^2$$

$$H_c := 1 - \left(\frac{u0_c^2 + v0_c^2}{r0_c^2} \right) = 0.42 \quad (\text{Constante de flexión})$$

$$F_{euc} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ec}}{r_u} \right)^2} = 86.36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

Obs: La longitud de pandeo es igual para ambos ejes (Lec)

$$F_{evc} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ec}}{r_v} \right)^2} = 54.28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

$$F_{exc} := \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_{wc}}{L_{ec}^2} + G \cdot J_c \right) \cdot \frac{1}{A_b \cdot r_{c2}} = 38.83 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{(Tensión elástica de pandeo torsional)}$$

$$F_{ec} := \left(\frac{F_{evc} + F_{exc}}{2 \cdot H_c} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{evc} \cdot F_{exc} \cdot H_c}{(F_{evc} + F_{exc})^2}} \right) = 25.63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{(Tensión de pandeo crítico elástico)}$$

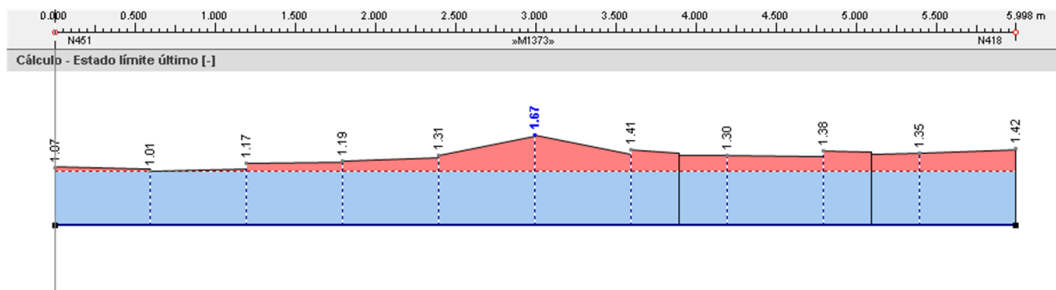
$$F_{crc} := \left(0.658 \left(\frac{F_{yc}}{F_{ec}} \right) \right) \cdot F_{yc} = 19.76 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{(Tensión crítica)}$$

$$\phi_c = 0.90 \quad \text{(Coeficiente de resistencia para compresión)}$$

$$R_{dc} := F_{crc} \cdot A_b \cdot \phi_c = 182.32 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } R_{dc} > P_r \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Capítulo H - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axil - según H2: (Pág. 132 AISC 360)

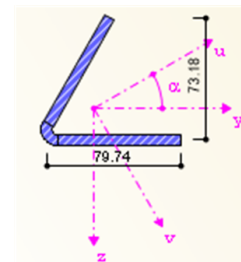


Compresión:

$$f_{ac} := -21.21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{(Tensión compresión necesaria)}$$

$$F_{ac} := 17.80 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{(Tensión compresión de cálculo)}$$

$$\eta_{ac} := \left| \frac{f_{ac}}{F_{ac}} \right| = 1.19 \quad \text{(Razón de tensiones de "tensión de compresión")}$$



Flexión respecto del eje mayor:

$$f_{b.uc} := -0.43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje mayor})$$

$$F_{b.uc} := 2.00 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje mayor})$$

$$\eta_{b.uc} := \left| \frac{f_{b.uc}}{F_{b.uc}} \right| = 0.22 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje mayor"})$$

Flexión respecto del eje menor:

$$f_{b.vc} := -6.17 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje mayor})$$

$$F_{b.vc} := 23.72 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje mayor})$$

$$\eta_{b.vc} := \left| \frac{f_{b.vc}}{F_{b.vc}} \right| = 0.26 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje mayor"})$$

Interacción de tensiones de flexión y axial:

$$Int_c := \left| \frac{f_{ac}}{F_{ac}} + \frac{f_{b.uc}}{F_{b.uc}} + \frac{f_{b.vc}}{F_{b.vc}} \right| = 1.67$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } Int_c < 1 \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"NO"}$$

Estados límites en diagonal de sección ángulo L 38x38x3,2mm - Material F24 (Barra 762 +54m a +62m)

Barra núm.	A	B	C	D	E
	Posición x [m]	Carga	Tensiones Razón		Cálculo según fórmula
762	Sección núm.	3 - L 38x38x3.2	CAN/CSA-S16-01		
	1.275	CD1	0.01 ≤ 1	100)	Esfuerzos internos insignificantes
	1.275	CD6	0.42 ≤ 1	101)	Capítulo D - Resistencia a tracción según D2
	0.000	CD19	0.66 ≤ 1	301)	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje u según E3
	0.000	CD19	0.89 ≤ 1	302)	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje v según E3
	0.000	CD19	1.81 > 1	311)	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje v según E3
	0.000	CD19	0.89 ≤ 1	312)	Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje z según E3
	0.000	CD19	1.89 > 1	321)	Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4

Se realizan las verificaciones de forma analítica para los esfuerzos más determinantes.

Parámetros generales de la sección:

$$F_{yd} := 235 \text{ MPa} \quad F_{ud} := 370 \text{ MPa} \quad A_{bd} := 2.32 \text{ cm}^2 \quad A_{nd} := 1.92 \text{ cm}^2 \quad E := 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$U := 0.75$$

$$A_{ed} := A_{nd} \cdot U = 1.44 \text{ cm}^2$$

Solicitaciones:

$$T_{rd} := 18.32 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a tracción necesaria})$$

$$P_{rd} := 23.46 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a compresión necesaria})$$

Capítulo D - Resistencia a la tracción - según D2:

(Pág. 76 AISC 360)

a) Fluencia en tracción en la sección bruta: $\phi_{r1} := 0.90$

$$T_{d1} := F_{yd} \cdot A_{bd} \cdot \phi_{r1} = 49.07 \text{ kN}$$

b) Rotura en tracción en la sección neta; $\phi_{r2} := 0.75$

$$T_{d2} := F_{ud} \cdot A_{ed} \cdot \phi_{r2} = 39.96 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } T_{d2} > T_{rd} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "u" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.u} := 1.25 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_u := 14.8 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "u"})$$

$$k_u := 1$$

$$\lambda_u := \frac{k_u \cdot L_{eff.u}}{r_u} = 84.46 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yd}}} = 137.40$$

$$F_{e.u} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_u^2} = 27.67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.u} := 0.658 \left(\frac{F_{yd}}{F_{e.u}} \right) \cdot F_{yd} = 16.47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d,u} := F_{cr,u} \cdot A_{bd} \cdot \phi_c = 34.39 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d,u} > P_{rd} = \text{"SI"} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "v" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,v} := 1.25 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_v := 7.5 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "v"})$$

$$k_v := 1$$

$$\lambda_v := \frac{k_v \cdot L_{eff,v}}{r_v} = 166.67 \cdot 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yd}}} = 137.40$$

$$F_{e,v} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_v^2} = 7.11 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr,v} := 0.658 \left(\frac{F_{yd}}{F_{e,v}} \right) \cdot F_{yd} = 5.89 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d,v} := F_{cr,v} \cdot A_{bd} \cdot \phi_c = 12.29 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d,v} > P_{rd} = \text{"NO"} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "y" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,y} := 1.25 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_y := 11.8 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "y"})$$

$$k_y := 1$$

$$\lambda_y := \frac{k_y \cdot L_{eff.y}}{r_y} = 105.93 \cdot 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yd}}} = 137.40$$

$$F_{e.y} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = 17.59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.y} := 0.658 \left(\frac{F_{yd}}{F_{e.y}} \right) \cdot F_{yd} = 13.43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.y} := F_{cr.y} \cdot A_{bd} \cdot \phi_c = 28.05 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.y} > P_{rd} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "z" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.z} := 1.25 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_z := 11.8 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "u"})$$

$$k_z := 1$$

$$\lambda_z := \frac{k_z \cdot L_{eff.z}}{r_z} = 105.93 \cdot 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{yd}}} = 137.40$$

$$F_{e.z} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} = 17.59 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.z} := 0.658 \left(\frac{F_{yd}}{F_{e.z}} \right) \cdot F_{yd} = 13.43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.z} := F_{cr.z} \cdot A_{bd} \cdot \phi_c = 28.05 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.z} > P_{rd} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4:

(Pág. 84 y 85 AISC 360)

$$G := 7720 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Módulo de cortante})$$

$$F_{yd} := 23.50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Límite elástico})$$

$$I_{ud} := 5.10 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$I_{vd} := 1.30 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$C_{wd} := 0.00 \text{ cm}^6 \quad (\text{Constante de alabeo})$$

$$J_d := 0.08 \text{ cm}^4 \quad (\text{Módulo de torsión})$$

$$L_{ed} := 1.25 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz para pandeo torsional y flexional})$$

$$u0_d := 0.00 \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$v0_d := 12.90 \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$r0_d := 21.00 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro polar})$$

$$r0_{d2} := u0_d^2 + v0_d^2 + \left(\frac{I_{ud} + I_{vd}}{A_{bd}} \right) = 442.27 \text{ mm}^2$$

$$H_d := 1 - \left(\frac{u0_d^2 + v0_d^2}{r0_d^2} \right) = 0.62 \quad (\text{Constante de flexión})$$

$$F_{eud} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ed}}{r_u} \right)^2} = 27.67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

Obs: La longitud de pandeo es igual para ambos ejes (Lec)

$$F_{evd} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ed}}{r_v} \right)^2} = 7.11 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

$$F_{exd} := \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_{wd}}{L_{ed}^2} + G \cdot J_d \right) \cdot \frac{1}{A_{bd} \cdot r_{d2}^2} = 60.19 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo torsional})$$

$$F_{ed} := \left(\frac{F_{evd} + F_{exd}}{2 \cdot H_d} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{evd} \cdot F_{exd} \cdot H_d}{(F_{evd} + F_{exd})^2}} \right) = 6.78 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo crítico elástico})$$

$$F_{crd} := 0.877 \cdot F_{ed} = 5.95 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica})$$

$$\phi_c = 0.90 \quad (\text{Coeficiente de resistencia para compresión})$$

$$R_{dd} := F_{crd} \cdot A_{bd} \cdot \phi_c = 12.42 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } R_{dd} > P_{rd} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"NO"}$$

Estados límites en cinturón de sección ángulo L 64x64x6,4mm - Material F24 (Barra 499 +54m a +62m)

Barra núm.	A				B				C				D				E			
	Posición x [m]				Carga				Tensiones Razón				Cálculo según fórmula							
498	Sección núm. 6 - L 2-1/2x2-1/2x1/4 AISC 15																			
	0.750	C010						0.21	≤ 1	101)	Capítulo D - Resistencia a tracción según D2									
	0.000	C07						0.13	≤ 1	111)	Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje u según F2 - F12									
	0.000	C07						0.14	≤ 1	112)	Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje v según F2 - F12									
	0.000	C03						0.00	≤ 1	138)	Capítulo F - No se aplica el pandeo local del lado de angulares simples - según F10									
	0.000	C02						0.00	≤ 1	148)	Capítulo F - No se aplica el pandeo local en el lado debido a la base en tracción - según F10									
	1.125	C03						0.02	≤ 1	160)	Capítulo G - Resistencia nominal a cortante en el eje v - según G2 (G3,G4) - Sección sin rigidizador									
	0.000	C07						0.44	≤ 1	340)	Capítulo H - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axil - según H2									

Se realizan las verificaciones de forma analítica para los esfuerzos más determinantes.

Parámetros generales de la sección:

$$F_{yci} := 248.2 \text{ MPa} \quad F_{uci} := 370 \text{ MPa} \quad A_{bci} := 7.68 \text{ cm}^2 \quad A_{nci} := 6.13 \text{ cm}^2 \quad E := 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$U := 0.75$$

Solicitaciones:

$$A_{eci} := A_{nci} \cdot U = 4.60 \text{ cm}^2$$

$$T_{rci} := 28.85 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a tracción necesaria})$$

$$M_{rci.u} := 0.43 \text{ kN m} \quad (\text{Resistencia necesaria a flexión en "u"})$$

$$M_{rci.v} := 0.21 \text{ kN m} \quad (\text{Resistencia necesaria a flexión en "v"})$$

Capítulo D - Resistencia a la tracción - según D2:

(Pág. 76 AISC 360)

a) Fluencia en tracción en la sección bruta: $\phi_{r1} := 0.90$

$$T_{ci1} := F_{yci} \cdot A_{bci} \cdot \phi_{r1} = 171.56 \text{ kN}$$

b) Rotura en tracción en la sección neta; $\phi_{r2} := 0.75$

$$T_{ci2} := F_{uci} \cdot A_{eci} \cdot \phi_{r2} = 127.58 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } T_{ci2} > T_{rci} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje "u" según F2-F12:

(Pág. 112 y 116 AISC 360)

$$S_{uci} := 10.10 \text{ cm}^3 \quad (\text{Módulo resistente elástico})$$

$$\phi_b := 0.90 \quad (\text{Coef. e resistencia para flexión})$$

$$M_{uci} := F_{yci} \cdot S_{uci} = 2.51 \text{ kN m} \quad (\text{Momento de fluencia})$$

$$M_{duci} := 1.5 \cdot M_{uci} \cdot \phi_b = 3.38 \text{ kN m}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } M_{duci} > M_{rci.u} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje "v" según F2-F12:

$$S_{vci} := 4.59 \text{ cm}^3 \quad (\text{Módulo resistente elástico})$$

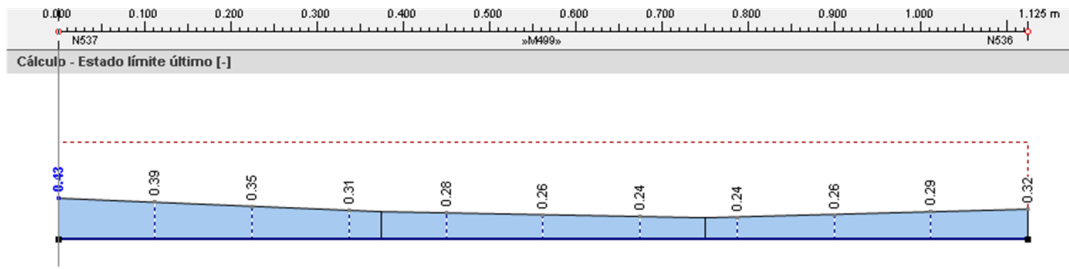
$$\phi_b := 0.90 \quad (\text{Coef. e resistencia para flexión})$$

$$M_{vci} := F_{yci} \cdot S_{vci} = 1.14 \text{ kN m} \quad (\text{Momento de fluencia})$$

$$M_{dvci} := 1.5 \cdot M_{vci} \cdot \phi_b = 1.54 \text{ kN m}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } M_{dvci} > M_{rci.v} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo II - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axil - según H2: (Pág. 132 AISC 360)

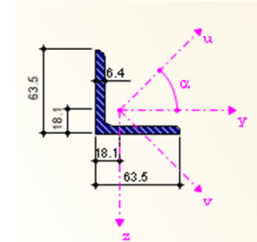


Tracción:

$$f_{aci} := 3.25 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión tracción necesaria})$$

$$F_{aci} := 17.96 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión tracción de cálculo})$$

$$\eta_{aci} := \left| \frac{f_{aci}}{F_{aci}} \right| = 0.18 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de tracción"})$$



Flexión respecto del eje mayor:

$$f_{b.uci} := 4.13 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje mayor})$$

$$F_{b.uci} := 33.51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje mayor})$$

$$\eta_{b.uci} := \left| \frac{f_{b.uci}}{F_{b.uci}} \right| = 0.12 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje mayor"})$$

Flexión respecto del eje menor:

$$f_{b.vci} := 3.29 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje menor})$$

$$F_{b.vci} := 25.40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje menor})$$

$$\eta_{b.vci} := \left| \frac{f_{b.vci}}{F_{b.vci}} \right| = 0.13 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje menor"})$$

Interacción de tensiones de flexión y axial:

$$Int_{ci} := \left| \frac{f_{aci}}{F_{aci}} + \frac{f_{b.uci}}{F_{b.uci}} + \frac{f_{b.vci}}{F_{b.vci}} \right| = 0.43$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } Int_{ci} < 1 \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Estados limites en estrellas de sección ángulo L 64x64x6,4mm - Material F24 (Barra 1333 +54m a +62m)

Barra núm.	A Posición x [m]	B Carga	C Tensiones Razón	D	E Cálculo según fórmula
1333	Sección núm.	6 - L 2-1/2x2-1/2x1/4 AISC 15			
	0.000	C04	0.14 ≤ 1	111) Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje u según F2 - F12	
	0.000	C03	0.06 ≤ 1	112) Capítulo F - Fluencia - Flexión respecto al eje v según F2 - F12	
	0.000	C01	0.00 ≤ 1	138) Capítulo F - No se aplica el pandeo local del lado de angulares simples - según F10	
	0.918	C04	0.01 ≤ 1	160) Capítulo G - Resistencia nominal a cortante en el eje v - según G2 (G3,G4) - Sección sin rigidizador	
	0.000	C06	0.40 ≤ 1	301) Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje u según E3	
	0.000	C06	0.42 ≤ 1	302) Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje y según E3	
	0.000	C06	0.50 ≤ 1	311) Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje v según E3	
	0.000	C06	0.42 ≤ 1	312) Capítulo E - Pandeo por flexión respecto al eje z según E3	
	0.115	C06	0.50 ≤ 1	321) Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4	
	0.000	C06	0.67 ≤ 1	340) Capítulo H - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axial - según H2	

Se realizan las verificaciones de forma analítica para los esfuerzos más determinantes.

Parámetros generales de la sección:

$$F_{ye} := 248.2 \text{ MPa} \quad F_{ue} := 370 \text{ MPa} \quad A_{be} := 7.68 \text{ cm}^2 \quad A_{ne} := 6.13 \text{ cm}^2 \quad E := 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$U := 0.75$$

$$A_{ee} := A_{ne} \cdot U = 4.60 \text{ cm}^2$$

Solicitaciones:

$$P_{re} := 64.20 \text{ kN} \quad (\text{Resistencia a compresión necesaria})$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "u" según E3: (Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff,u} := 0.918 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_u := 24.3 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "u"})$$

$$k_u := 1$$

$$\lambda_u := \frac{k_u \cdot L_{eff,u}}{r_u} = 37.78 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} = 133.70$$

$$F_{e.u} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_u^2} = 138.31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.u} := 0.658 \left(\frac{F_{ye}}{F_{e.u}} \right) \cdot F_{ye} = 23.02 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.u} := F_{cr.u} \cdot A_{be} \cdot \phi_c = 159.14 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.u} > P_{re} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "v" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.v} := 0.918 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_v := 12.2 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "v"})$$

$$k_v := 1$$

$$\lambda_v := \frac{k_v \cdot L_{eff.v}}{r_v} = 75.25 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} = 133.70$$

$$F_{e.v} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_v^2} = 34.86 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.v} := 0.658 \left(\frac{F_{ye}}{F_{e.v}} \right) \cdot F_{ye} = 18.42 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.v} := F_{cr.v} \cdot A_{be} \cdot \phi_c = 127.35 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.v} > P_{re} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "y" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.y} := 0.918 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_y := 19.4 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "y"})$$

$$k_y := 1$$

$$\lambda_y := \frac{k_y \cdot L_{eff.y}}{r_y} = 47.32 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} = 133.70$$

$$F_{e.y} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_y^2} = 88.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.y} := 0.658 \left(\frac{F_{ye}}{F_{e.y}} \right) \cdot F_{ye} = 22.06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.y} := F_{cr.y} \cdot A_{be} \cdot \phi_c = 152.49 \text{ kN}$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.y} > P_{re} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo por flexión respecto del eje "z" según E3:

(Pág. 83 AISC 360)

$$L_{eff.z} := 0.918 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz de barra})$$

$$r_z := 19.4 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro respecto del eje "z"})$$

$$k_z := 1$$

$$\lambda_z := \frac{k_z \cdot L_{eff.z}}{r_z} = 47.32 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} = 133.70$$

$$F_{e.z} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_z^2} = 88.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica de pandeo elástico})$$

$$F_{cr.z} := 0.658 \left(\frac{F_{ye}}{F_{e.z}} \right) \cdot F_{ye} = 22.06 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Tensión de pandeo por flexión})$$

$$\phi_c := 0.90 \quad (\text{Coef. de resistencia para compresión})$$

$$P_{d.z} := F_{cr.z} \cdot A_{be} \cdot \phi_c = 152.49 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } P_{d.z} > P_{re} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo E - Pandeo torsional y pandeo flexotorsional según E4:

(Pág. 84 y 85 AISC 360)

$$G := 7720 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Módulo de cortante})$$

$$F_{ye} = 24.82 \frac{\text{kN}}{\text{cm}} \quad (\text{Límite elástico})$$

$$I_{ue} := 45.33 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$I_{ve} := 11.73 \text{ cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección})$$

$$C_{we} := 0.00 \text{ cm}^6 \quad (\text{Constante de alabeo})$$

$$J_e := 6.99 \text{ cm}^4 \quad (\text{Módulo de torsión})$$

$$L_{ee} := 0.918 \text{ m} \quad (\text{Longitud eficaz para pandeo torsional y flexional})$$

$$u0_e := 0.00 \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$v0_e := (-21.00) \text{ mm} \quad (\text{Coordenada del centro de corte respecto al centroide})$$

$$r0_e := 34.40 \text{ mm} \quad (\text{Radio de giro polar})$$

$$r0_{e2} := u0_e^2 + v0_e^2 + \left(\frac{I_{ue} + I_{ve}}{A_{be}} \right) = 1183.97 \text{ mm}^2$$

$$H_e := 1 - \left(\frac{u\theta_e^2 + v\theta_e^2}{r\theta_e^2} \right) = 0.63 \quad (\text{Constante de flexión})$$

$$F_{eve} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ee}}{r_u} \right)^2} = 138.31 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

Obs: La longitud de pandeo es igual para ambos ejes (Lec)

$$F_{eve} := \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_{ee}}{r_v} \right)^2} = 34.86 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo por flexión})$$

$$F_{exe} := \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_{we}}{L_{ee}^2} + G \cdot J_e \right) \cdot \frac{1}{A_{be} \cdot r\theta_{e2}} = 593.46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión elástica de pandeo torsional})$$

$$F_{ee} := \left(\frac{F_{eve} + F_{exe}}{2 \cdot H_e} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{eve} \cdot F_{exe} \cdot H_e}{(F_{eve} + F_{exe})^2}} \right) = 34.09 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de pandeo crítico elástico})$$

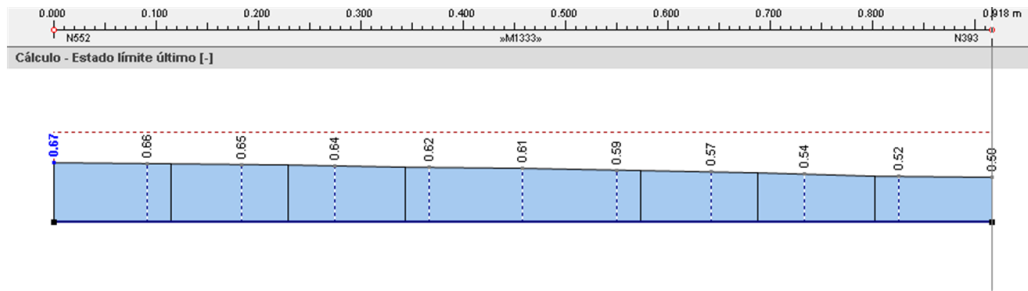
$$F_{cre} := \left(0.658 \left(\frac{F_{ye}}{F_{ee}} \right) \right) \cdot F_{ye} = 18.30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión crítica})$$

$$\phi_c = 0.90 \quad (\text{Coeficiente de resistencia para compresión})$$

$$R_{de} := F_{cre} \cdot A_{be} \cdot \phi_c = 126.49 \text{ kN}$$

$$\text{Verifica} := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } R_{de} > P_{re} \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

Capítulo H - Barras asimétricas y otras sujetas a flexión y esfuerzo axial - según H2: (Pág. 132 AISC 360)

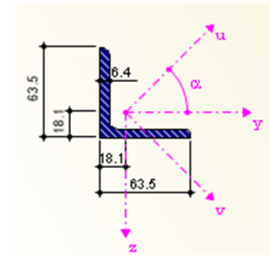


Compresión:

$$f_{ae} := -8.36 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión compresión necesaria})$$

$$F_{ae} := 16.62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión compresión de cálculo})$$

$$\eta_{ae} := \left| \frac{f_{ae}}{F_{ae}} \right| = 0.50 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de compresión"})$$



Flexión respecto del eje mayor:

$$f_{b.ue} := -3.83 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje mayor})$$

$$F_{b.ue} := 33.51 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje mayor})$$

$$\eta_{b.ue} := \left| \frac{f_{b.ue}}{F_{b.ue}} \right| = 0.11 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje mayor"})$$

Flexión respecto del eje menor:

$$f_{b.ve} := -1.30 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión necesaria respecto al eje menor})$$

$$F_{b.ve} := 25.40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tensión de flexión de cálculo respecto al eje menor})$$

$$\eta_{b.ve} := \left| \frac{f_{b.ve}}{F_{b.ve}} \right| = 0.05 \quad (\text{Razón de tensiones de "tensión de flexión respecto al eje menor"})$$

Interacción de tensiones de flexión y axial:

$$Int_e := \left| \frac{f_{ae}}{F_{ae}} + \frac{f_{b.ue}}{F_{b.ue}} + \frac{f_{b.ve}}{F_{b.ve}} \right| = 0.67$$

$$Verifica := \begin{cases} \text{"SI"} & \text{if } Int_e < 1 \\ \text{"NO"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"SI"}$$

15. ANEXO 4 – VERIFICACIONES DE UNIONES

En este anexo se muestra información relativa a los cálculos realizados previamente a la verificación de los estados límites.

EMPALME CORDÓN-CORDÓN

Parámetros de la sección (cordón)											
Tramo	Sección	Material	Lado	Espesor	Ag	An	U	Ae	Ant	Agv	Anv
[m]			[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]		[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]
0 a 1,6	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
1,6 a 6	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
6 a 12	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
12 a 18	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
18 a 24	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
24 a 30	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
30 a 36	< 190x9,5	F36	190,00	9,50	18,05	14,65	1,00	14,65	9,03	24,13	19,88
36 a 42	< 190x6,4	F36	190,00	6,40	12,16	9,87	1,00	9,87	6,08	16,26	13,40
42 a 48	< 190x6,4	F36	190,00	6,40	12,16	9,87	1,00	9,87	6,08	16,26	13,40
48 a 54	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
54 a 60	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
60 a 66	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
66 a 72	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
72 a 78	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
78 a 84	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40
84 a 90	< 160x6,4	F36	160,00	6,40	10,24	7,95	1,00	7,95	5,12	16,26	13,40

Parámetros de la sección (cubrejunta)											
Tramo	Sección	Material	Ancho	Espesor	Ag	An	U	Ae	Ant	Agv	Anv
[m]			[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]		[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]
0 a 1,6	< 190x9,5	F36	66,50	9,50	6,32	4,62	1,00	4,62	3,16	12,07	7,82
1,6 a 6	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
6 a 12	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
12 a 18	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
18 a 24	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
24 a 30	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
30 a 36	< 190x7,9	F36	66,50	7,90	5,25	3,84	1,00	3,84	2,63	10,03	6,50
36 a 42	< 190x7,9	F36	75,80	7,90	5,99	4,58	1,00	4,58	2,99	10,03	6,50
42 a 48	< 190x7,9	F36	75,80	7,90	5,99	4,58	1,00	4,58	2,99	10,03	6,50
48 a 54	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
54 a 60	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
60 a 66	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
66 a 72	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
72 a 78	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
78 a 84	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27
84 a 90	< 160x6,4	F36	60,80	6,40	3,89	2,75	1,00	2,75	1,95	8,13	5,27

Parámetros de la unión y resistencias nominales											
Tramos	Sección	dh	s	Lc end	Lc spa	1er bulón		2do bulón		3er bulón	
						Rn aplast.	Rn Desg.	Rn aplast.	Rn Desg.	Rn aplast.	Rn Desg.
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
0 a 1,6	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	133,92	96,22	133,92	221,71	133,92	347,19
1,6 a 6	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
6 a 12	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
12 a 18	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
18 a 24	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
24 a 30	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
30 a 36	< 190x9,5	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
36 a 42	< 190x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
42 a 48	< 190x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	111,37	80,02	111,37	184,37	111,37	288,72
48 a 54	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
54 a 60	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
60 a 66	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
66 a 72	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
72 a 78	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
78 a 84	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90
84 a 90	< 160x6,4	31,75	47,63	22,81	29,75	90,22	64,82	90,22	149,36	90,22	233,90

Características de los materiales		
Cordón	Material	F36
	Fy [Mpa]	360
	Fu [Mpa]	520
Bulones	Material	A325
	Rosca en PC	Incluida
	Fy [Mpa]	-
	Fu [Mpa]	825
	Ft [Mpa]	619
	Fvt [Mpa]	309
Cubrejunta	Espesor [mm]	Variable
	Material	A36
	Fy [Mpa]	235
	Fu [Mpa]	370

Factores de reducción de resistencia, ϕ	
Corte de bulones	0,75
Aplastamiento	0,75
Fluencia de área bruta	0,90
Rotura de área neta	0,75
Rotura de bloque de corte	0,75

Tabla de resistencias de materiales					
Materiales	Fluencia Fy [Mpa]	Última Fu [Mpa]	Tracción Ft [Mpa]	Corte	
				Fvt [Mpa] Rosca incl.	Fvt [Mpa] Rosca Excl.
A36	235	370	-	-	-
F36	360	520	-	-	-
A325	-	825	619	309	413
A307	-	370	259	97	97
A490	-	1035	776	388	518
ISO 10.9	-	1035	776	388	518
SAE 1010	290	390	293	146	195
SAE 1045	410	670	503	251	335



UNIÓN DIAGONAL-CORDÓN

Parámetros de la unión y resistencias nominales								
Tramos	Deformación						Corte en bulones	
	dh	s	Lc end	Lc spa	Rn Aplast.	Rn Desg.	Planos de corte	Área bulón (Ab)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[ad.]	[cm ²]
0 a 1,6	25,40	0	18,05	0	54,13	38,47	2	1,27
1,6 a 6	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
6 a 12	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
12 a 18	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
18 a 24	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
24 a 30	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
30 a 36	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
36 a 42	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
42 a 48	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
48 a 54	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
54 a 60	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
60 a 66	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
66 a 72	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27
72 a 78	25,40	0	18,05	0	36,09	25,65	2	1,27

Parámetros de la sección y de la unión								
Tramo	Sección	Lado	Espesor	Ag	An	U	Ae	Ant
		[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]	[ad.]	[cm ²]	[cm ²]
0 a 1,6	L44x4,8	44	4,8	3,99	3,29	0,75	2,47	1,06
1,6 a 6	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
6 a 12	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
12 a 18	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
18 a 24	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
24 a 30	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
30 a 36	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
36 a 42	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
42 a 48	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
48 a 54	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
54 a 60	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
60 a 66	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
66 a 72	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
72 a 78	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
78 a 84	L38x3,2	38	3,2	2,33	1,86	0,75	1,39	0,61
84 a 90	L44x3,2	44	3,2	2,71	2,24	0,75	1,68	0,70

Parámetros de la sección y de la unión					
Tramo	Agv	Anv	Ubs	N+	N-
	[cm ²]	[cm ²]	[ad.]	[kN]	[kN]
0 a 1,6	1,22	0,87	1	18,40	16,60
1,6 a 6	0,81	0,58	1	16,28	13,85
6 a 12	0,81	0,58	1	10,09	9,77
12 a 18	0,81	0,58	1	9,05	9,10
18 a 24	0,81	0,58	1	12,28	12,05
24 a 30	0,81	0,58	1	10,11	10,09
30 a 36	0,81	0,58	1	10,05	10,85
36 a 42	0,81	0,58	1	23,23	22,84
42 a 48	0,81	0,58	1	19,94	20,77
48 a 54	0,81	0,58	1	9,99	9,77
54 a 60	0,81	0,58	1	22,35	23,46
60 a 66	0,81	0,58	1	20,26	20,27
66 a 72	0,81	0,58	1	10,69	12,10
72 a 78	0,81	0,58	1	19,84	18,91
78 a 84	0,81	0,58	1	10,25	11,13
84 a 90	0,81	0,58	1	14,45	15,09

Características de los materiales		
Cordón	Material	F36
	Fy [Mpa]	360
	Fu [Mpa]	520
Bulones	Bulones x ala	1
	Bulones x cord.	1
	Cant. total	1
	Material	A325
	Rosca en PC	Incluida
	Fy [Mpa]	-
	Fu [Mpa]	825
	Ft [Mpa]	619
Fvt [Mpa]	309	
Diagonal	Material	A36
	Fy [Mpa]	235
	Fu [Mpa]	370

Factores de reducción de resistencia, ϕ	
Corte de bulones	0,75
Aplastamiento	0,75
Fluencia de área bruta	0,90
Rotura de área neta	0,75
Rotura de bloque de corte	0,75

Tabla de resistencias de materiales					
Materiales	Fluencia	Última	Tracción	Corte	
	Fy [Mpa]	Fu [Mpa]	Ft [Mpa]	Fvt [Mpa] Rosca incl.	Fvt [Mpa] Rosca Excl.
A36	235	370	-	-	-
F36	360	520	-	-	-
A325	-	825	619	309	413
A307	-	370	259	97	97
A490	-	1035	776	388	518
ISO 10.9	-	1035	776	388	518
SAE 1010	290	390	293	146	195
SAE 1045	410	670	503	251	335



UNIÓN CINTURÓN-CORDÓN

Parámetros de la sección y de la unión							
Cinturón	Nivel	Sección	Material	Lado	Espesor	Ag	An
	[m]			[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ²]
1	13,5	L 64x6,4	F24	64	6,4	7,68	6,74
2	28,5	L 64x6,4	F24	64	6,4	7,68	6,33
3	40,5	L 64x6,4	F24	64	6,4	7,68	6,33
4	57,5	L 64x6,4	F24	64	6,4	7,68	6,13

Parámetros de la sección y de la unión							
Cinturón	Nivel	Sección	U	Ae	Ant	Agv	Anv
	[m]			[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]	[cm ²]
1	13,5	L 64x6,4	0,75	5,05	2,05	8,13	6,91
2	28,5	L 64x6,4	0,75	4,75	2,05	12,19	10,36
3	40,5	L 64x6,4	0,75	4,75	2,05	12,19	10,36
4	57,5	L 64x6,4	0,75	4,60	2,05	14,22	12,09

Resistencias nominales y parámetros de corte						
Cinturón	1er bulón		2do bulón		Planos de corte	Área bulón (Ab)
	Rn aplast.	Rn Desg.	Rn aplast.	Rn Desg.		
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]		[cm ²]
1	72,18	51,29	72,18	117,78	2	1,27
2	108,26	78,36	108,26	180,94	2	2,85
3	108,26	78,36	108,26	180,94	2	2,85
4	126,31	91,89	126,31	212,52	2	3,88

Parámetros de la unión					
Cinturón	Nivel	dh	s	Lc end	Lc spa
	[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	13,50	25,40	38,10	18,05	23,40
2	28,50	38,10	57,15	27,58	36,10
3	40,50	38,10	57,15	27,58	36,10
4	57,50	44,45	66,68	32,34	42,45

Características de los materiales		
Cordón	Material	F36
	Fy [Mpa]	360
	Fu [Mpa]	520
Bulones	Material	A325
	Rosca en PC	Incluida
	Fy [Mpa]	-
	Fu [Mpa]	825
	Ft [Mpa]	619
Chapa de nudo / Cordón	Fvt [Mpa]	309
	Espesor [mm]	Variable
	Material	A36
	Fy [Mpa]	235
	Fu [Mpa]	370

Factores de reducción de resistencia, ϕ	
Corte de bulones	0,75
Aplastamiento	0,75
Fluencia de área bruta	0,90
Rotura de área neta	0,75
Rotura de bloque de corte	0,75

Tabla de resistencias de materiales					
Materiales	Fluencia	Última	Tracción	Corte	
	Fy [Mpa]	Fu [Mpa]	Ft [Mpa]	Fvt [Mpa] Rosca incl.	Fvt [Mpa] Rosca Excl.
A36	235	370	-	-	-
F36	360	520	-	-	-
A325	-	825	619	309	413
A307	-	370	259	97	97
A490	-	1035	776	388	518
ISO 10.9	-	1035	776	388	518
SAE 1010	290	390	293	146	195
SAE 1045	410	670	503	251	335

