



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CRITERIOS ESTRUCTURALES SOBRE TORRES PARA
TELEFONÍA CELULAR**

Jonas Antonio Dobias Nuila

Asesorado por: Ing. Juan Miguel Rubio Romero.

Guatemala, mayo 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CRITERIOS ESTRUCTURALES SOBRE TORRES PARA
TELEFONÍA CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JONAS ANTONIO DOBIAS NUILA

ASESORADO POR: ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOVAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br, Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR:	Ing. Félix Aguila
EXAMINADOR:	Ing. Eduardo Ramírez Saravia
EXAMINADOR:	Ing. Oscar Mayorga Cruz
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CRITERIOS ESTRUCTURALES SOBRE TORRES PARA TELEFONÍA CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil con fecha 3 de septiembre de 2003.

Jonas Antonio Dobias Nuila

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Blanca Margarita Nuila Gularte de Dobias

Jonas Alfonso Dobias Guzmán (Q.E.P.D.)

Mi hermana

Claudia Paola Dobias Nuila

Mis abuelos

María Lorenza Gularte García (Q.E.P.D.)

Zoila Consuelo Guzmán Gaytán de Dobias (Q.E.P.D.)

Dolores Calderón Morales (Q.E.P.D.)

Ing. Jonas Joaquín Dobias Rabanales (Q.E.P.D.)

Hèctor Nuila Arreaga (Q.E.P.D.)

Mis sobrinos

Kaleb Aswell Dobias

Margarite Aswell Dobias

Las familias

Gularte Hernández, Calderón Nuila, Aswell Dobias, Tzanis-Escobar Dobias, Sánchez-Palacios Dobias, Midencey Paz, Juárez Guzmán, Girón López y Lara Castañeda.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Juan Miguel Rubio Romero, por brindarme su apoyo y asesoría para la realización del presente.

Industria Tècnica Metàlica (I.T.M.), en especial a su presidente Mario González y al Arq. Carlos Cassera, por proporcionarme la información necesaria.

Mis amigos Erick Gabriel Martínez, Geovanny Eleazar Jiménez, Ing. Alejandro Renè Barrios, Ing. Juan Carlos Flores, Arq. Eladio Ruíz Telòn, Ing. Guillermo Gòmez, Víctor Recinos, Ing. Jaime Laj y familia Cifuentes Marckwordt, por su apoyo.

La gerencia de Ingeniería de PCS, por la oportunidad de laborar con ellos y los conocimientos adquiridos.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	VI
RESUMEN	VIII
INTRODUCCIÓN	X
OBJETIVOS	XII

1. ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA TIPOLOGÍA DE LAS TORRES	001
1.1 Uso de las torres	001
1.1.1 Apoyo compartido	001
1.1.2 Autosoportante	007
1.2 Acciones en la torre	008
1.2.1 Cargas gravitacionales	008
1.2.1.1 Peso propio	009
1.2.1.2 Peso de equipo	009
1.2.1.3 Peso de cables	011
1.2.1.4 Peso de instalación	011
1.2.2 Cargas laterales	011
1.2.2.1 De viento	012
1.2.2.2 De sismo	022
1.3 Sección transversal de la torre	024
1.3.1 Sección cuadrada	025
1.3.2 Sección triangular	026
1.3.3 Otras secciones	028
1.4 Uso del embreizado	029
1.4.1 Diagonal simple	030
1.4.2 Diagonal doble	032

1.4.3	Otras formas de embreizado	033
1.5	Efectos de longitud de traslape	035
1.5.1	Por requerimiento de pieza	035
1.5.2	Por solicitud del interesado	038
2.	EJEMPLO DE APLICACIÓN DE ANÁLISIS	039
2.1	Torres de sección triangular con diagonal doble	039
2.2	Torres de sección cuadrada con diagonal simple	065
2.3	Diseño para carga de viento en antena típica de microondas	093
3.	DISEÑO DE PIEZAS EN TORRES	097
3.1	Piezas a tensión	098
3.2	Piezas a compresión	102
3.3	Traslapes o uniones	108
3.3.1	Conexiones atornilladas	109
3.3.2	Conexiones soldadas	114
3.4	Anclajes a bases	118
	CONCLUSIONES	121
	RECOMENDACIONES	123
	BIBLIOGRAFÍA	124
	APÉNDICE	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Torres arriostradas de sección triangular	02
2.	Planta de torre de alta tensión	03
3.	Elevación de torre de alta tensión	04
4.	Torre de alta tensión no alineada debido a accidentes topográficos	04
5.	Elevación de torre de alta tensión no alineada debido a accidentes topográficos	05
6.	Efectos torsores y de volteo en torres de alta tensión	06
7.	Torres autoportadas	08
8.	Velocidades de viento para Guatemala (Km/Hora)	13
9.	Torres de sección cuadrada	25
10.	Torres de sección triangular	27
11.	Monopolos	28
12.	Uso de diagonal simple	31
13.	Uso de diagonal doble	32
14.	Uso de redundantes	33
15.	Uso de diafragmas o breizas auxiliares	34
16.	Uniones de punta con pernos	36
17.	Uniones de punta con soldadura	37
18.	Torre de sección triangular con diagonal doble	40
19.	Sección 6 de torre triangular	53
20.	Torre de sección cuadrada con diagonal simple	66
21.	Sección 6 de torre cuadrada	81
22.	Planta de antena parabólica típica y sus esfuerzos	94

23.	Agujeros alternados en gramiles	101
24.	Esfuerzos de corte y tensión simultáneos en pernos	110
25.	Detalle de soldaduras tipo filete	116
26.	Detalle de anclaje a base o cimiento	119
27.	Coeficientes de velocidad de viento	127
28.	Coeficientes de fuerza	128
29.	Presiones por velocidad de viento	129
30.	Plano de torre de sección triangular	131
31.	Plano de sección 11 torre triangular	132
32.	Plano de sección 10 torre triangular	133
33.	Plano de sección 9 torre triangular	134
34.	Plano de sección 8 torre triangular	135
35.	Plano de sección 7 torre triangular	136
36.	Plano de sección 6 torre triangular	137
37.	Plano de torre de sección cuadrada	138
38.	Plano de sección 10 torre cuadrada	139
39.	Plano de sección 9 torre cuadrada	140
40.	Plano de sección 8 torre cuadrada	141
41.	Plano de sección 7 torre cuadrada	142
42.	Plano de sección 6 torre cuadrada	143

TABLA

I	Coeficientes de fuerza para monopolos	18
II	Factores de dirección de viento	19
III	Coeficientes de fuerzas para accesorios	20
IV	Curvas de relación de esbeltez efectiva	99

V	Relación de esbeltez para elementos principales	105
VI	Relación de esbeltez para elementos secundarios	106
VII	Valores de velocidad de K_z y Q_z para distintas velocidades	130

GLOSARIO

Accesorios discretos	Se refiere al equipo soportado por la estructura de la torre ubicado en un punto de la misma.
Accesorios lineales	Se refiere al equipo por la estructura de la torre ubicado a lo largo de la misma. Básicamente se refiere al cableado.
Breizas o diagonales	Elemento estructural de segundo orden utilizado para contrarrestar efectos de contraventeo.
Cable heliax	Líneas de alimentación para el sistema de telecomunicaciones.
Centro de gravedad	El centro de gravedad de un cuerpo es el punto por donde pasa la resultante de todas las fuerzas producidas por la gravedad sobre todas sus partículas.
Fotocelda	Dispositivo para apagado y encendido automático de la iluminación.
Momento de inercia	El momento de inercia de la superficie de una sección con relación a un eje es la suma de los productos de las áreas de los elementos diferenciales, en los que se puede dividirse la sección, multiplicadas por los cuadrados de sus distancias a dicho eje.

Momento de volteo	Es la multiplicación de una fuerza perpendicular a una superficie por la distancia a un punto de pivote.
Momento torsor	Es la multiplicación de una fuerza paralela a una superficie por la distancia al centro de gravedad de la sección.
Montantes	Elementos estructurales de primer orden.
Nudos	Uniones estructurales articuladas donde actúa la fuerza provocada por la presión del viento.
Pernos “j”	Tornillos de sujeción de escalerillas dispuestos en forma de J.
Cantilver	Elemento estructural autoportado, dispuesto en voladizo.
Radio de giro	Abstracción matemática, que se define como la raíz cuadrada del cociente obtenido al dividir el momento de inercia por el área.
Redundante	Elemento estructural de tercer orden.
Riostras	Elementos estructurales empleados como tensores entre la estructura de la torre y un punto de apoyo externo a ésta.
Washas de presión	Dispositivo utilizado entre los tornillos y la superficie de contacto de estos para proveer la tensión inicial según especificaciones AISC.

RESUMEN

Para que un sistema de telecomunicaciones funcione satisfactoriamente, el ingeniero se apoya en el uso de torres. Por su función, dichas torres pueden ser clasificadas en torres con apoyos compartidos y torres autosoportadas, estas últimas son las de mayor demanda en sistemas de telefonía celular.

Las estructuras en mención deben ser diseñadas para soportar las cargas gravitacionales debido al peso propio de la estructura, el peso del equipo, peso de cables y peso de instalación. Así mismo deben soportar las cargas horizontales producidas por la presión y velocidad del viento.

La sección transversal de la torre y su altura depende de los requerimientos del cliente. Entre las más comunes se encuentran las torres tipo monopolo, las torres de sección cuadrada y las de sección triangular, esta última es la de mayor uso en el mercado local, debido a que presenta mayores ventajas con respecto a las demás.

Tanto las torres de sección triangular como las de sección cuadrada pueden ser diseñadas con el uso de diagonales simples o diagonales dobles, y tienen muchas veces que apoyarse con diagonales auxiliares denominadas redundantes.

Muchas veces las longitudes de los elementos sobrepasan las longitudes en el mercado, y es necesario realizar distintos empalmes, de acuerdo a los requerimientos de las piezas o a los requerimientos del interesado, cumpliendo siempre con las normas correspondientes.

El análisis estructural de la torre depende de muchos factores, entre ellos, la localización de ésta para establecer la velocidad del viento de la región, así como las dimensiones de la estructura y los elementos que la conforman. También deben establecerse las propiedades físicas del equipo y antenas a soportar.

Las torres de telefonía celular, por ser una estructura ligera y flexible con uniones articuladas, tienen elementos que trabajan únicamente y soportan cargas axiales a tensión y compresión, ésta última es la crítica.

Para la unión entre distintos elementos se utilizan pernos de alta resistencia y soldadura eléctrica. Ambas opciones cumplen satisfactoriamente, aun que las uniones mediante pernos se efectúan en campo, mientras que las soldadas se efectúan el taller.

La estructura de la torre se encuentra sujeta a su cimentación mediante pernos de alta resistencia. Dichos pernos deben ser de una longitud requerida para que la fuerza de adherencia entre estos y el concreto sea suficiente para soportar los esfuerzos de tensión y compresión transmitidos por la torre a la cimentación.

INTRODUCCIÓN

Las personas de todo el mundo necesitan de la disponibilidad de distintas vías de comunicación para llevar a cabo sus actividades cotidianas. La forma de dichas actividades depende de factores como, tiempo, distancia, economía, funcionalidad, etc. Existen distintos medio de comunicación, todos ellos con ventajas y desventajas.

La primordial idea de la comunicación, como en cualquier proceso, es la eficiencia. De todas las forma de comunicación, la más utilizada es la telefonía, puestos que cumple con todos los factores mencionados.

Actualmente debido al ritmo de crecimiento económico de todas las ciudades, la telefonía celular se ha convertido en una necesidad básica para una producción competitiva.

En la telefonía celular necesita efectuar obras civiles, como en cualquier proyecto de sociedad; necesita de antenas receptoras y transmisoras de microondas colocadas en puntos estratégicos. La latitud, longitud y altura de dichas antenas deben ser las óptimas para que la cobertura de la señal cumpla con los propósitos de la misma.

El ingeniero constructor se ha apoyado en el uso de estructuras metálicas para satisfacer los requerimientos de las telecomunicaciones. La construcción de torres utilizando perfiles de acero constituye una forma económica, segura y práctica.

Para realizar de manera adecuada el diseño de las torres para telefonía celular, es necesario disponer de datos físicos y ambientales de la localidad, así como de materia prima disponible. La velocidad del viento y su recurrencia es el factor climatológico de mayor importancia a considerar.

El equipo a implementar para el sistema radiante es fundamental en el diseño estructural, ya que sus propiedades físicas, es decir, dimensiones y peso son parámetros que no pueden dejar de considerarse, ya que en base a ellos se selecciona el tipo de torre a instalar. La estructura debe diseñarse tomando en cuenta los perfiles disponibles en el mercado.

El presente trabajo desarrolla los criterios estructurales para implementar distintos tipos de torres utilizados en telecomunicaciones, específicamente las de telefonía celular, indicando las ventajas y desventajas de éstas. Se muestra la integración de cargas, y se desarrollan tres ejemplos de análisis y su interpretación. También se describen los temas de diseño de las piezas individuales y sus uniones.

OBJETIVOS

GENERAL

Presentar al ingeniero los criterios estructurales mínimos y factores a considerar, en el diseño de torres de estructura metálica empleadas en la telefonía celular.

ESPECÍFICOS

1. Describir los distintos tipos de torres y secciones de las mismas, ventajas y desventajas, así como sus distintos usos en la telefonía celular.
2. Describir el procedimiento, paso a paso, desde la selección del tipo de torre a implementar y los perfiles que conforman dicha estructura, hasta la integración correcta de las cargas gravitacionales y laterales actuantes en la misma, para lograr así un diseño satisfactorio y equilibrado para las necesidades requeridas.
3. Identificar e integrar las distintas acciones en las torres, como las cargas gravitacionales producidas por el peso propio de la estructura y sus accesorios, además de las cargas laterales producidas por la presión del viento.
4. Analizar las distintas secciones transversales de torres de mayor uso en la telefonía celular, así como la gama de perfiles estructurales de los elementos que la conforman.
5. Estudiar los diversos usos de embreizado en una torre de estructura metálica.

6. Saber calcular e integrar las cargas debidas a la velocidad del viento en las antenas parabólicas de acuerdo a especificaciones TIA/EIA-222-F. Así como sus efectos producidos en la estructura de la torre.

7. Adquirir los conocimiento básicos para el diseño de perfiles metálicos a tensión y compresión, respetando los valores descritos por las normas ASTM, AISC y TIA/EIA-222-F.

1. ALGUNOS CRITERIOS SOBRE TIPOLOGÍA DE TORRES

1.1 Usos de las torres

Las torres de enrejado de estructura metálica ofrecen un diseño eficiente, construcción económica y capacidad de cargas, desde moderadas hasta pesadas de accesorios. Estas torres se diseñan específicamente para instalaciones de equipos de microondas, utilizados tanto para telecomunicaciones, como para radiodifusoras FM y TV, también son utilizados para instalaciones de equipos meteorológicos.

Por lo general la parte inferior es de forma piramidal y en la parte superior continúa con una sección constante. También pueden realizarse diseños de torres con sección constante a lo largo de la misma, como en el caso de las torres arriostradas y algunas autoportadas de poca altura, además de las autoportadas de alturas considerables de forma piramidal desde la parte inferior hasta la superior de la misma.

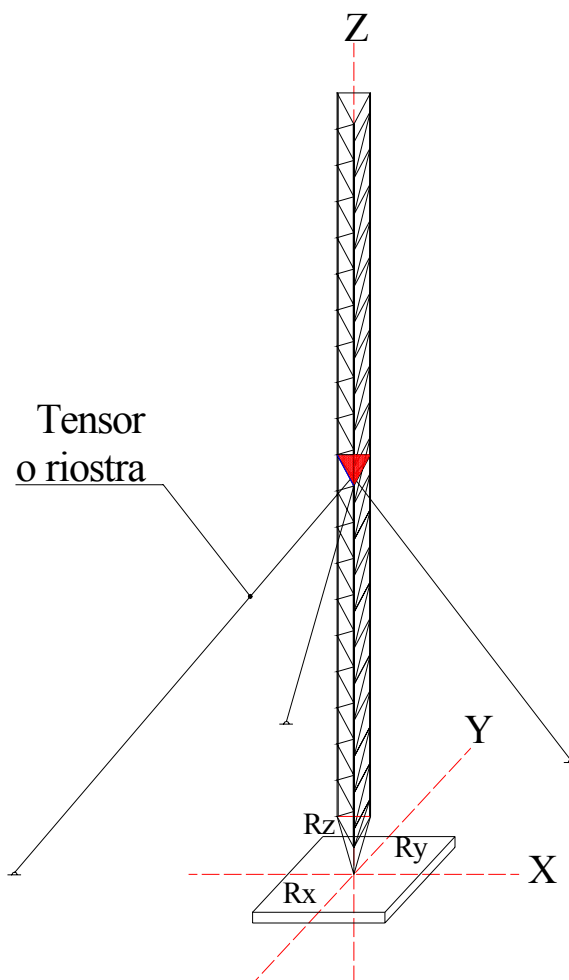
Por la forma en que las torres se encuentran apoyadas, básicamente se clasifican en dos grupos: las torres con apoyos compartidos o relativos y las autoportadas o en cantilever.

1.1.1 Torres con apoyos compartidos

También llamadas con apoyos relativos, debido a que las cargas horizontales aplicadas no se transmiten en su totalidad a la estructura de la torre, sino que es auxiliada por elementos externos a la misma, tales como las torres arriostradas y las torres de alta tensión.

En las torres arriostradas, la carga horizontal, debido a la presión provocada por la velocidad del viento y a movimientos telúricos se transmite a las riostras o tensores que se oponen a la dirección de éstas, estos trabajan únicamente a tensión. (ver figura 1).

Figura 1. Torre arriostrada de sección triangular



Para que este tipo de torre trabaje satisfactoriamente debe tener como mínimo tres tensores dirigidos en sentido de las directrices cuando es de sección triangular el cuerpo de la misma.

Cuando el cuerpo de la torre es de sección cuadrada, estará auxiliada por cuatro riostras, las cuales se ubicaràn en sentido perpendicular a cada cara y en dirección al centroide geométrico de la sección.

El momento torsor actuante en este tipo de torres es mínimo, debido a la pequeña sección de la torre y a la ubicación del equipo, cuyo centro de gravedad queda alineado con el eje de la misma.

Las torres de alta tensión al igual que las arriostradas son torres con apoyos compartidos ya que las cargas laterales en dirección de los cables de transmisión eléctrica, ocasionadas por el viento y los sismos, son disipados en parte por los cables que soportan conjuntamente otras torres.

Las cargas horizontales que se aplican perpendicularmente al sentido de los cables y las verticales producidas por el peso propio de la torre y los cables, actúan directamente en la estructura de la misma, (ver figura 2).

Figura 2. **Planta de torre de alta tensión**

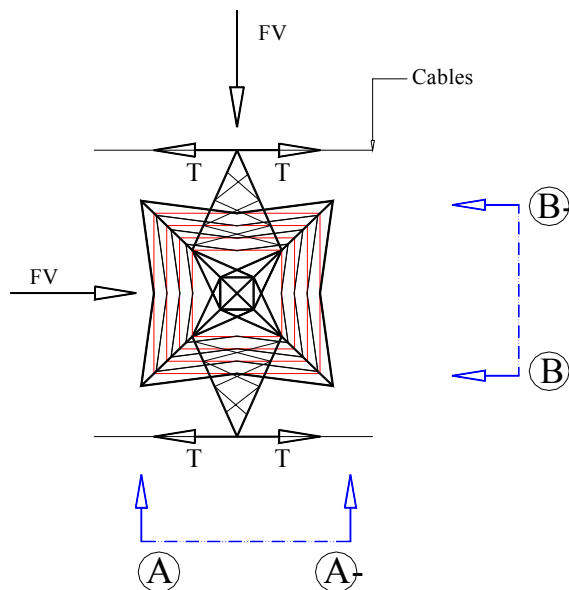
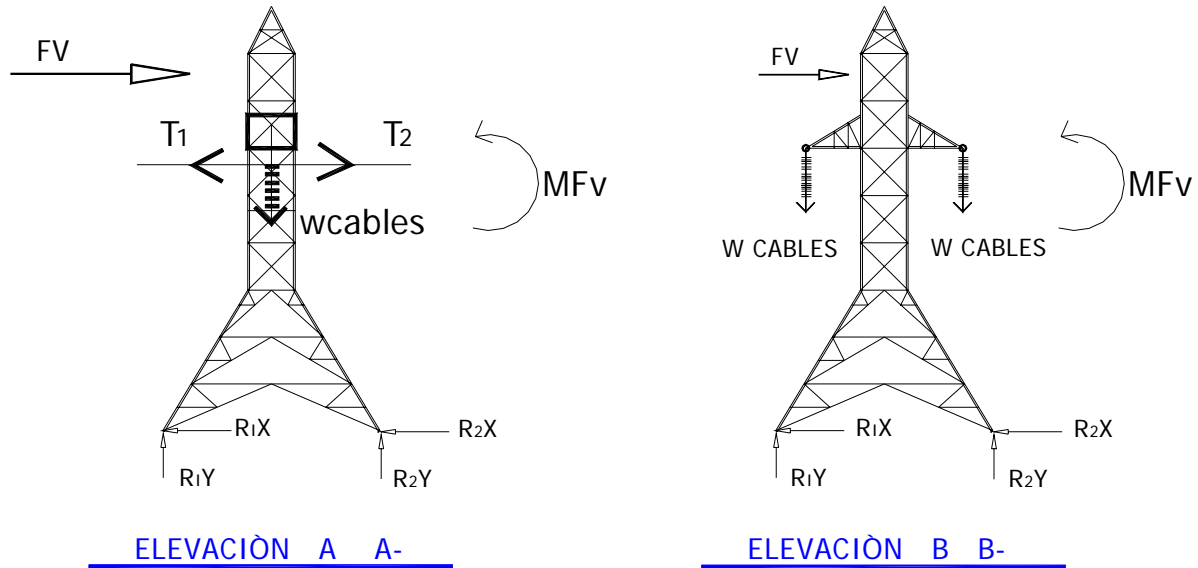


Figura 3. Elevación de torre de alta tensión



Existen casos en que debido a accidentes topográficos como ríos, lagos, montañas, poblados, etc. la torre en estudio no puede alinearse con la torre anterior o la torre posterior o con ambas, en dicho caso para efectos de análisis, la fuerza de tensión ocasionada en los cables se descomponen en dos, (ver figura 4 y figura 5).

Figura 4. Torre de alta tensión no alineada debido a accidentes topográficos

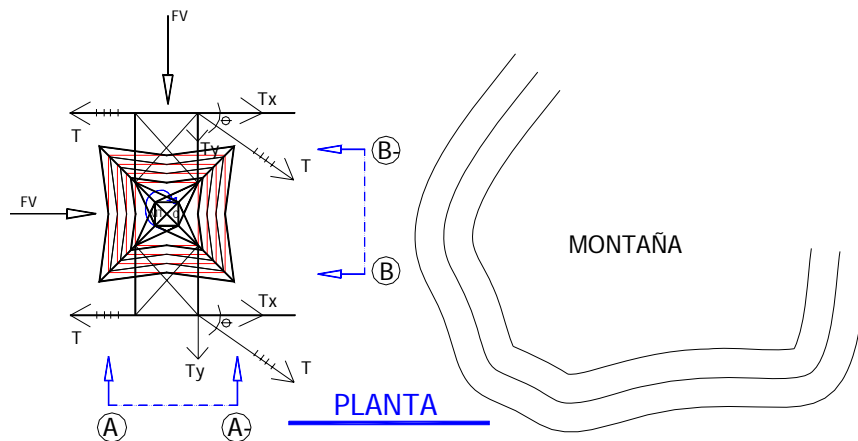
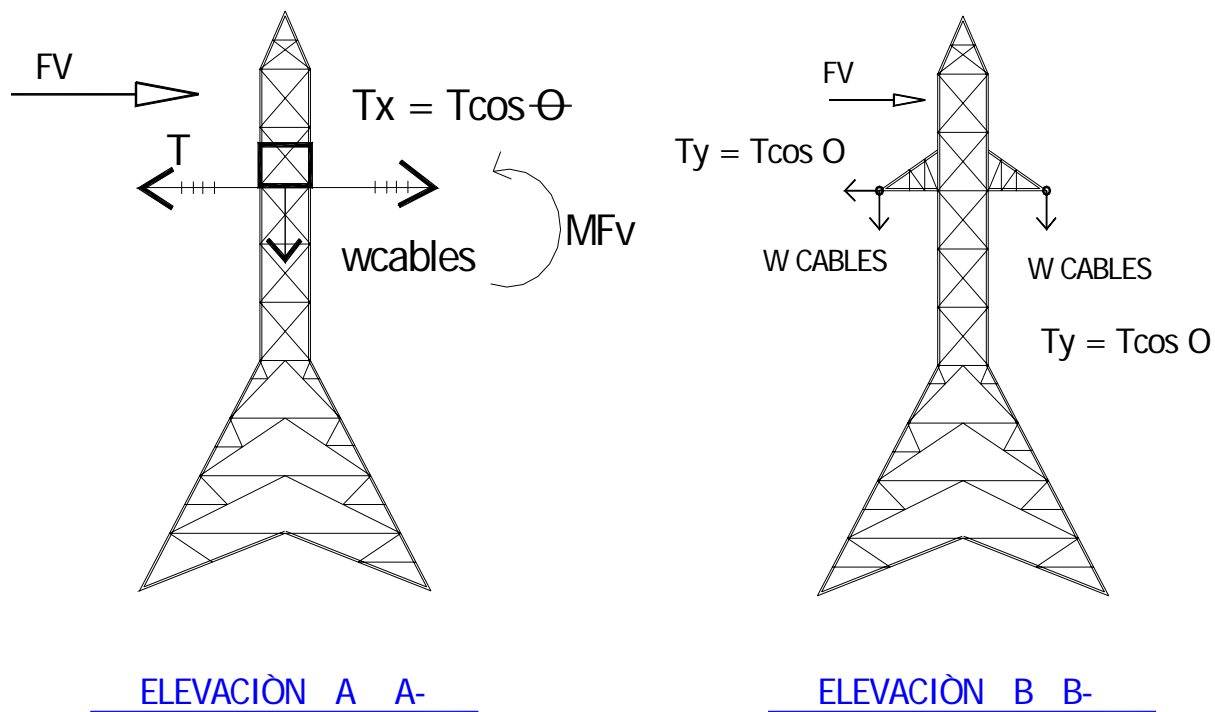
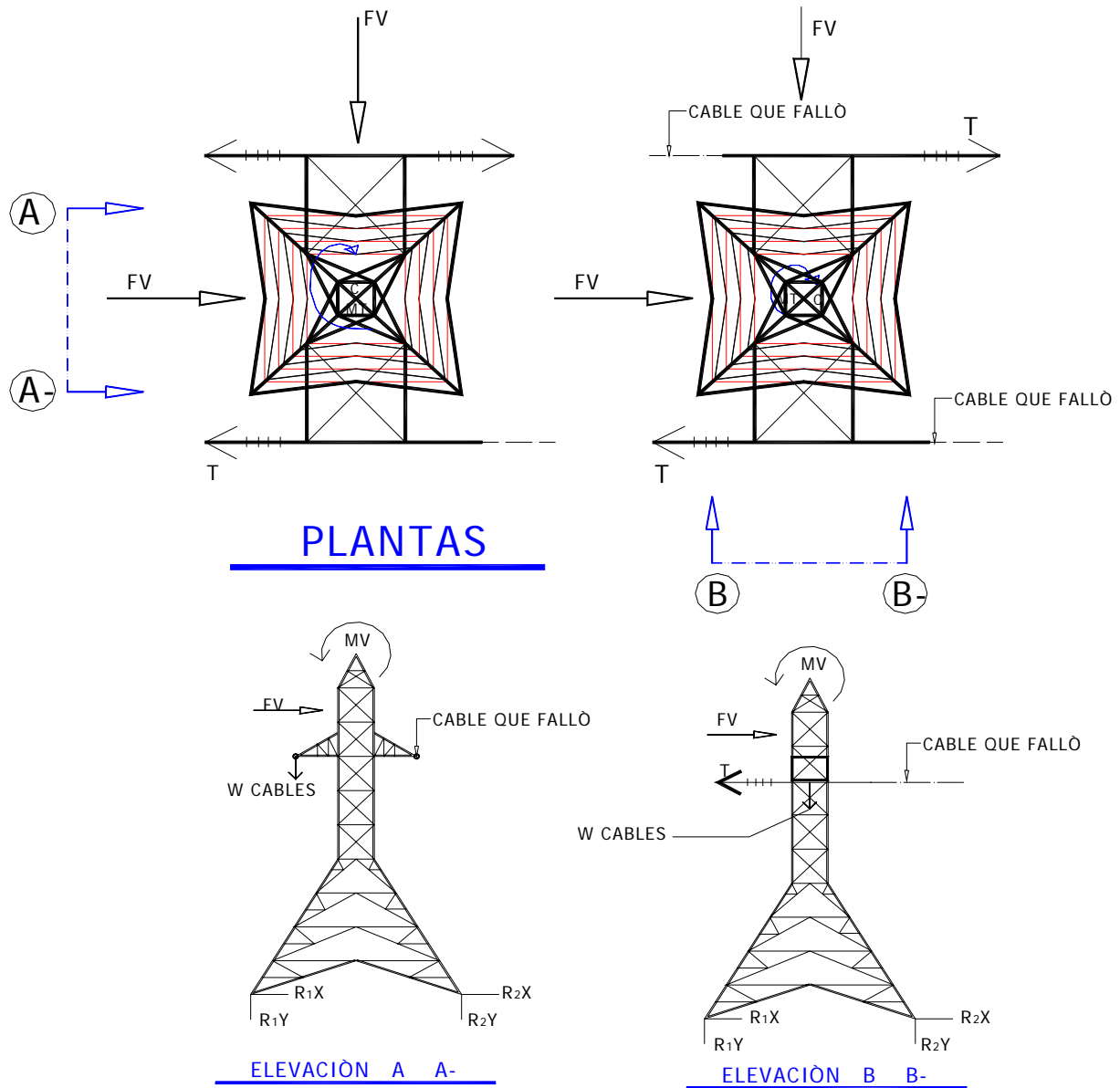


Figura 5. Elevación Torre de alta tensión no alineadas debido a accidentes topográficos



A diferencia de las torres arriostradas, este tipo de torres son susceptibles a los momentos torsores y de volteo, ya que durante la instalación de los cables o por la ruptura de uno de estos en funcionamiento, pueden provocar excentricidad de cargas exteriores en la estructura, desequilibran así el sistema de fuerzas ocasionado por los mismos y concentrándolas en un sentido, generando así dichos momentos, (ver figura 6).

Figura 6. Efectos torsores y de volteo en torres de alta tensión



Es por esto que en el proceso de análisis de fuerzas se realizan una serie de combinaciones con los cables a soportar, para encontrar las situaciones críticas y así realizar el diseño correspondiente.

1.1.2 Torres autoportadas

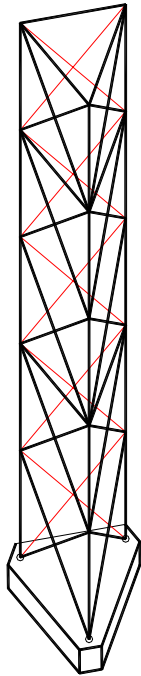
También llamadas en canteliver, ya que actúan como un voladizo, soportándose por sí mismas, es decir, no necesitan de elementos externos para alcanzar el equilibrio, como en el caso de las arriostradas o las de alta tensión.

Los esfuerzos de reacción tanto en las torres autoportadas como en las torres de apoyos compartidos, se generan en forma de cargas axiales, a tensión y compresión, y son absorbidos por los elementos que la conforman.

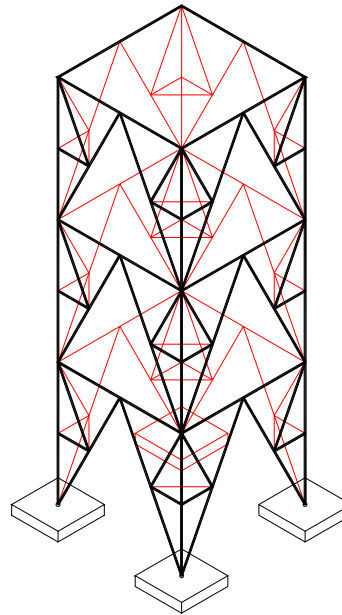
Las torres autoportadas son las más rígidas. Por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie y que funcionan a frecuencias elevadas. Así mismo, tienen la ventaja de poder instalarse en áreas limitadas, ya que muchas veces el área disponible del suelo no permite el tendido de las fijaciones de las riostras (terreno accidentado, zona urbana con terreno exiguo).

Por su uso en la telefonía celular las torres autoportadas de sección triangular y de sección cuadrada son las más comunes, el ancho de la base es en función de la altura de la misma, (ver figura 7).

Figura 7. **Torres autoportadas**



Torre de sección triangular
de 60 pies de altura



Torre de sección cuadrada
de 60 pies de altura

1.2 Acciones en la torre

Las torres de telefonía celular, así como cualquier tipo de estructura, están sujetas básicamente a dos tipos de cargas: cargas gravitacionales y cargas laterales.

1.2.1 Cargas gravitacionales

Como su nombre lo indica, estas cargas actúan en dirección de la fuerza de gravedad, es decir, perpendicularmente al geoide terrestre. Como en toda estructura las cargas gravitacionales son cargas vivas y cargas muertas.

Prácticamente son cuatro las cargas gravitacionales que se consideran en el análisis de la estructura de una torre para telefonía celular. Estas son el peso propio de la estructura, el peso del equipo a sostener, el peso de los cables y el peso durante la instalación.

1.2.1.1 Peso propio

El peso propio se refiere al peso total de todos los elementos estructurales que conforman la torre, dichos elementos son:

- Estructura: está conformada por montantes o elementos principales, elementos secundarios o breizas y redundantes, placas de unión entre breizas y montantes, y tornillería completa (tornillos, tuercas, rondanas y washas de presión).

Las dimensiones y pesos correspondientes de los elementos descritos en los párrafos anteriores se obtienen del manual “*AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION*”, por sus siglas en inglés, AISC, según el perfil que se emplee. Los programas actuales de computadora para realizar diseños de torres de telecomunicaciones, asignan automáticamente valores según la sección del elemento.

1.2.1.2 Peso de equipo

Este depende del equipo y accesorios que soportará la torre. Dichos componentes son:

- El sistema de protección contra descargas electroatmosféricas: está conformado por un tubo de soporte de pararrayos, puesta a tierra de torre, pararrayos, bajada de pararrayos con cable desnudo de cobre 2/0 AWG y abrazaderas metálicas sin fin cada 2.00 m a lo largo del cable. También incluye cables desnudos de cobre 2/0 AWG para puesta a tierra de antenas y cables heliax con aisladores de porcelana y platinas de cobre.
- Sistema de iluminación o balizamiento nocturno: éste depende de la altura de la torre, por lo general se instalan dos balizas a $\frac{3}{4}$ de la altura de la torre y una en la parte superior, tablero de control de luces de navegación, fotocelda para apagado y encendido automático y cable TSJ correspondiente.
- Antenas: sus dimensiones y peso dependen del tipo y de la marca de las antenas que se utilizarán.
- Escalerillas de ascenso-descenso y de cableado: conformadas por las escalerillas en sí, placas de unión entre escalerillas, placas para sujeción de escalerilla con cruces de diagonales y tornillería completa (pernos "J", tornillos, tuercas, rondanas y washas de presión).
- Soportes para antenas: estas estructuras están destinadas a soportar las antenas, y están constituidas por los soportes en sí, la plataforma de trabajo, abrazaderas para colocación de soportes y sujeción a estructura, herrajes para su correcta instalación, fijadores y tornillería completa (tornillos, tuercas, rondanas y washas de presión).

El peso y las dimensiones del equipo a utilizar, varían dependiendo de la marca. El proveedor debe proporcionar manuales para obtener dichos valores.

1.2.1.3 Peso de cables

El peso y las dimensiones de los cables tipo heliax depende del diámetro de los mismos, y éste depende del sistema de comunicación que se implementará. Dichos valores se obtendrán a partir de manuales que deberán ser proporcionados por el proveedor.

1.2.1.4 Peso de instalación

Este peso se refiere a la carga viva adicional que se colocará en la estructura de la torre durante su montaje y durante trabajos rutinarios. Debido al personal y el equipo que se utiliza para realizar dicho trabajo, es recomendable asignar un valor de 200 kg/m², que es equivalente a la carga viva de un entrepiso en una residencia u oficina.

1.2.2 Cargas laterales

Las cargas laterales actuantes en una torre como en cualquier estructura son dos: la carga debido a la presión ocasionada por la velocidad del viento y la carga debido a sismos.

1.2.2.1 Carga de viento

El viento es aire en movimiento. El aire tiene masa, (densidad o peso) y se mueve en una dirección y con una velocidad particular, por lo tanto posee energía cinética.

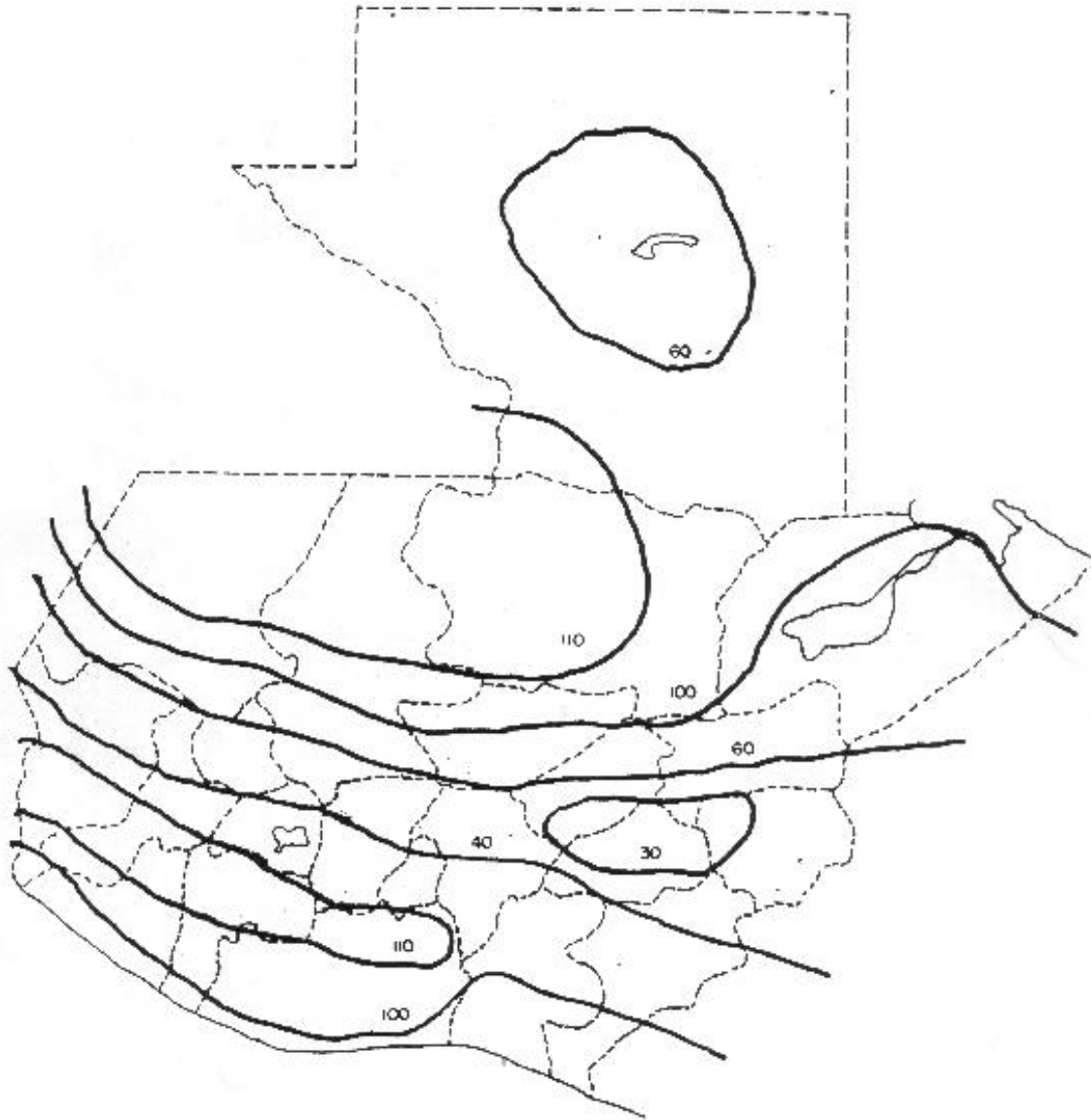
Cuando el aire en movimiento encuentra un objeto fijo, ocurren varios efectos que se combinan para ejercer una fuerza sobre el mismo. Dicha fuerza depende del área de contacto entre la estructura de la torre y los accesorios, con el viento.

La condición del viento que más interesa para el diseño de estructuras es, principalmente, la de una tormenta de viento, específicamente vientos con alta velocidad al nivel de la superficie del suelo. Estos vientos se asocian por lo general con tornados o huracanes.

De primordial importancia en la evaluación del viento es la velocidad máxima que alcanza éste; ésta por lo general, se refiere a una velocidad sostenida y no a efectos de ráfaga.

Para predecir el grado de importancia o la probabilidad de condiciones críticas de viento en un lugar particular, deben utilizarse los registros meteorológicos locales y regionales. Los reglamentos de construcción establecen requisitos mínimos de diseño por viento basados en esta experiencia y la probabilidad estadística que ella representa. El mapa de la figura 8. muestra la variación de velocidades de viento en Guatemala.

Figura 8. Velocidades de viento para Guatemala (Millas/Hora)



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)

Los vientos se miden, regularmente, en un gran número de lugares. La medición estándar se realiza a una altura de 10 m (aproximadamente 33 pies) sobre el terreno circundante, la cual proporciona una referencia fija con respecto a los efectos de arrastre de superficie del suelo.

Aunque las condiciones de viento, por lo regular, se generalizan para una región geográfica, pueden variar considerablemente en sitios específicos debido a la naturaleza y accidentes topográficos del área o a las estructuras circundantes. En cada diseño individual de una estructura deben considerarse dichos factores.

Se han desarrollado dos tipos de diseño debido a la carga lateral del viento, estos son el uniforme y el básico. El primero indica que se deberá aplicar la velocidad de viento local, (esta velocidad es tomada a 33 pies sobre el nivel del terreno, que equivale a 10.00 m), uniforme a lo largo de la estructura, independientemente de la altura de la sección. Este generalmente se utiliza en valles, donde se sabe que los cambios de la velocidad con respecto a la altura serán mínimos.

En el diseño básico, se toma en cuenta que la velocidad de viento aumenta conforme la altura de las secciones de la torre se incrementa, es por eso que la velocidad local de viento debe multiplicarse por un factor de altura. (El valor de este factor se representa en una gráfica del apéndice). Este tipo de diseño es más conservador y generalmente se utiliza en áreas despejadas, como en planicies y áreas cercanas a la costa, donde se sabe que la velocidad del viento puede aumentar con la altura.

La fuerza total aplicada a la estructura, debido a la carga de viento, debe incluir la suma de las fuerzas aplicadas en los nudos, en los accesorios y en las antenas.

La fuerza horizontal, (F), provocada por la presión del viento, debido a su peso y velocidad, debe calcularse a partir de la ecuación:

$$F = qz Gh [Cf Ae + \sum(Ca Aa)] (lb) [N]$$

Esta expresión es la multiplicación de la presión debida al viento por el área de la torre en que golpea. A ambos múltiplos debe aplicárseles diversos coeficientes de seguridad.

Nota: esta fórmula solamente aplica a los elementos estructurales de la torre y a los accesorios lineales. Mientras que la fuerza en los accesorios discreto, incluyendo antenas, soportes de equipo y cables deben ser calculados como extras.

En ninguno de los casos F será mayor que $2 qz Gh Ag$ según especificaciones “TIA/EIA-222-F”. El valor de Ag corresponde el área de una cara de la torre, asumiendo ésta completa.

Así como la velocidad del viento aumenta con la altura, aumenta la presión, (qz), provocada por el mismo.

Muchas veces la estructura se encuentra rodeada por edificaciones o por accidentes topográficos; por ello deberá aplicarse a coeficiente de exposición, (Kz) a distintas alturas. Estos valores podrán obtenerse a partir de las siguientes expresiones:

$$qz = 0.00256 Kz V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{) cuando } V \text{ es en mi/h ó}$$

$$qz = 0.613 Kz V^2 \text{ [Pa] cuando } V \text{ es en m/s}$$

$$Kz = [z/33]^{2/7} \text{ cuando } z \text{ es en pies ó}$$

$$Kz = [z/10]^{2/7} \text{ cuando } z \text{ es en metros}$$

Respetándose los límites $1.00 \leq Kz \leq 2.58$,

(Ver apéndice para obtener valores de q_z y k_z respectivamente, a distintas alturas).

V = velocidad local de viento, (mi/h) [m/s]

z = altura del nivel de referencia al punto medio de la sección en estudio (pies)
[m]

A menos que otras especificaciones lo indiquen la velocidad local de viento (V) se obtiene de la figura 8.

Muchas veces el viento posee bolsas de aire de mayor densidad, estas bolsas aumentan la presión del mismo un 15% de su valor, sólo durante una fracción de segundo. Es por eso que a la fuerza de viento se le deberá aplicar coeficiente de ráfaga, (G_h), el cual se obtiene a partir de la expresión:

$$G_h = 0.65 + 0.60/(h/33)^{1/7} \text{ para } h \text{ en pies}$$

$$G_h = 0.65 + 0.60/(h/10)^{1/7} \text{ para } h \text{ en metros}$$

Respetándose los límites $1.00 \leq G_h \leq 1.25$

(Ver apéndice para obtener valores de K_z y G_h , a distintas alturas).

Para estructuras tubulares de monopolos, el factor de ráfaga de viento (G_h) debe ser 1.69 según normas TIA/EIA-222-F.

En todos los casos deberá aplicarse un mismo factor de ráfaga de viento (G_h) para la estructura completa.

El área de contacto entre el viento con la estructura y sus accesorios lineales no siempre es la misma. Esto debido a que no todos los tramos de la estructura tienen las mismas dimensiones y no están conformados por los mismos elementos. Es por esto que al área en cada tramo de la torre deberá ser aplicado un coeficiente dependiendo de la sección de la estructura y el área superficial de la misma.

Al área de la estructura se le debe aplicar un coeficiente de fuerza, (Cf), el mismo depende de la relación de solidez y de la sección transversal de la torre. Dicho coeficiente viene dado por la expresión:

$$Cf = 4.0 e^2 - 5.9 e + 4.0 \quad (\text{para torres de sección cuadrada})$$

$$Cf = 3.4 e^2 - 4.7 e + 3.4 \quad (\text{para torres de sección triangular})$$

donde e = relación de solidez $(A_f + A_r) / A_g$

A_f = es el área proyectada (pies²) [m²] de los elementos estructurales planos en una cara del tramo analizado.

A_r = área proyectada (pies²) [m²] de los elementos estructurales circulares en una cara del tramo analizado.

(Ver apéndice para distintos valores de Cf dependiendo de su relación de solidez).

Nota: el área proyectada de los componentes estructurales debe incluir el área proyectada de las placas de unión.

Para estructuras tubulares de acero en cantilever, el coeficiente de fuerza (Cf), debe ser determinado de la tabla I.

Tabla I. Coeficientes de fuerza para monopolos

Coeficientes de fuerza (Cf), para estructuras en cantiliver de polos tubulares					
C (mph pies)	Circular	16 caras r < 0.26	16 caras r ≥ 0.26	12 caras	8 caras
< 32	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
32 a 64	130/(c) ^{1.3}	1.78 + 1.40r - C/91.5 - C(r)/22.9	0.72 + (64-C)/44.8	12.5/(C) ^{0.6}	1.2
>64	0.59	1.08 - 1.40r	0.72	1.03	1.2
SI UNITS					
C (m/s m)	Circular	16 caras r < 0.26	16 caras r ≥ 0.26	12 caras	8 caras
< 4.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
4.4 a 8.7	9.74/(c) ^{1.3}	1.78 + 1.40r - C/12.5 - C(r)/3.12	0.72 + (8.7-C)/6.1	3.78/(C) ^{0.6}	1.2
>8.7	0.59	1.08 - 1.40r	0.72	1.03	1.2
C = (√Kz) * V * Dp para Dp en pies [m],					
Notas:					
1. Estos coeficientes de fuerza se aplican únicamente a estructuras de polos tubulares en cantiliver, los cuales están autosoportados o son montados en la parte superior de una estructura de enrejado.					
2. Los coeficientes de fuerza indicados cuentan para cargas de viento bajo condiciones de corrientes críticas y por lo tanto no aplican a accesorios sujetos a la estructura. Utilizar tabla III para coeficientes de fuerza apropiados para accesorios.					
3. Para todas las secciones transversales tubulares, Cf no debe exceder 1.2 para ningún valor de C.					
4. V, es la velocidad básica de viento para las condiciones de carga bajo estudio.					
5. Dp, diámetro promedio o espesor promedio de la estructura de un monopolo.					

Fuente: Normas TIA / EIA - 222-F

Como es de suponer la dirección del viento no es constante, por lo mismo existe un área de la torre donde el viento choca. Dicha área es llamada área efectiva (Ae). La misma es calculada a partir de la expresión:

$$A_e = D_f A_f + D_r A_r R_r \text{ (pies}^2\text{) [m}^2\text{]}$$

Nota: para monopolos, Ae debe ser el área proyectada basada en el diámetro del polo o el ancho total.

Los factores Df y Dr, para elementos planos y circulares respectivamente, varía de acuerdo al área proyectada de los mismos con la dirección del viento. Los valores de dichos factores deben ser determinados de la tabla II.

Tabla II. **Factores de dirección de viento**

Factores de la dirección del viento					
Sección de torre	Cuadrada		Triangular		
Dirección del viento	Normal	$\pm 45^\circ$ *	Normal	60° *	$\pm 90^\circ$ *
Df	1.0	$1+0.75e$ (1.2 max.)	1.0	0.80	0.85
Dr	1.0	$1+0.75e$ (1.2 max.)	1.0	1.0	1.0
* Medido a partir de una línea normal a la cara de la estructura.					

Fuente: Normas TIA / EIA - 222-F

Los elementos tubulares por tener una proyección circular, hacen que el viento no choque perpendicularmente a dicho elemento, por lo mismo es necesario multiplicarlo por un factor de reducción, el cual está dado por la expresión:

$$R_r = 0.51e^2 + 0.57, \text{ donde } R_r \leq 1.0$$

Los accesorios lineales sujetos a una cara y no expuestos más allá del área proyectada de la cara, pueden ser considerados como elementos estructurales cuando es calculado el radio de solidez y las fuerzas de viento.

La fuerza horizontal, (F), debido a la presión del viento debe asumirse uniformemente en cada tramo, basado en la altura del punto medio del tramo en estudio y distribuida en el número total de nudos.

Mientras que en estructuras sostenidas libremente, para que la fuerza sea distribuida uniformemente, la altura de la misma no debe exceder los 60 piés ó 18 m de altura.

En estructuras de monopostes tubulares de acero, para que la fuerza sea distribuida uniformemente, la altura no debe exceder los 30 piés ó 9.1 m de altura.

El diseño de cargas de viento (F_c) en un accesorio, como las plataformas, soportes, etc. (excluyendo antenas de microondas y reflectores pasivos) debe ser calculado a partir de la siguiente expresión:

$$F_c = qzGh [\sum(C_a A_c)] (I_b) [N]$$

En donde $\sum(C_a A_c)$ considera todos los elementos de los accesorios discretos, incluyendo líneas de alimentación, soportes, etc C_a es el coeficiente de fuerza en los accesorios, (ver Tabla III), y A_c el área del mismo.

Tabla III. **Coefficiente de fuerza para accesorios**

Coefficientes de fuerza para accesorios		
Tipo de miembro	Relación largo/ancho ≤ 7	Relación largo/ancho ≥ 25
	C_a	C_a
Plano	1.4	2
Cilindrico	0.8	1.2

Rerelción largo/ancho = longitud total/ancho, en un plano normal a la dirección del viento, (la relación largo/ancho no está en función del espaciamiento entre puntos de apoyo del accesorio lineal, ni la fuerza es considerada uniformemente distribuida a lo largo de la sección).
 Nota: la interpolación lineal puede ser usada para otras relaciones de longitud/ancho que no son indicadas.

Fuente: Normas TIA / EIA - 222-F

Estos accesorios sujetos a la estructura pueden ser considerados como elementos estructurales cuando se calcula la relación de solidez y las fuerzas de viento, siempre y cuando estos estén dentro del área proyectada por la cara de la torre.

La presión de la velocidad del viento, (qz), en los accesorios discretos, se calcula a la altura de la línea horizontal que pasa por el centro del mismo.

El coeficiente de ráfaga de viento, (Gh), es el mismo utilizado para la estructura de la torre.

La carga de viento, (F_c), se aplica horizontal y perpendicularmente al accesorio discreto.

Otra carga horizontal a considerarse producida por el viento, es la fuerza provocada por la presión del mismo sobre las antenas de microondas y reflectores pasivos. Esta fuerza se descompone en dos, una sobre el plano de la dirección del viento, (F_a), y la otra perpendicular a ésta última, (F_s). Así mismo es provocado un momento, (M), en el soporte de la antena, (ver sección 2.3), de acuerdo a especificaciones TIA/EIA-222-F para distintos tipos de antenas.

En todos los casos, la magnitud de F_a , F_s y M dependen de la presión dinámica y la dirección del viento, el área frontal proyectada de la antena y el tipo de antena a utilizar, según especificaciones “TIA/EIA-222-F”. Los valores de F_a , F_s y M deben ser calculados de las siguientes ecuaciones:

$$F_a = C_a A K_z G_h V^2 \text{ (lb)}, \quad F_s = C_s A K_z G_h V^2 \text{ (lb)}, \quad M = C_m A D K_z G_h V^2 \text{ (pies-lb)}$$

Donde : C_a , C_s y C_m son coeficientes que dependen de la dirección del viento y están contenidos en las especificaciones TIA/EIA-F-222.

G_h = coeficiente de ráfaga.

A = área de apertura externa (pies²) de antena parabólica, reflector, grid o antena Horn o área de plato de reflector pasivo.

D = diámetro externo (pies) de antena parabólica, reflector, grid o antena horn o ancho o longitud de reflector pasivo.

V = velocidad básica del viento.

K_z = coeficiente de exposición, z es la altura del origen del sistema de ejes.

Θ = ángulo de dirección de viento.

Las antenas se ubican en los nudos de la estructura, concentrando así fuerzas excéntricas y provocando esfuerzos de torsión en el paralelos a la sección de la estructura.

Estos esfuerzos provocan desplazamientos en los nudos, los cuales deben estar dentro del rango que permiten las especificaciones TIA / EIA – 222- F.

1.2.2.2. Carga de sismo

Los sismos son, básicamente, vibraciones de la corteza terrestre provocadas por fallas subterráneas del suelo. Ocurren varias veces al día en diversas partes del planeta, aunque cada año sólo unos cuantos son de magnitud suficiente para producir daños significativos en las estructuras.

Los sismos fuertes ocurren, con mayor frecuencia, en regiones particulares de la superficie terrestre que se conocen como zonas de probabilidad alta, Guatemala está en una de ellas.

Durante un sismo el suelo se mueve en todas direcciones. Los efectos que producen más daños en las estructuras son, en general, los movimientos paralelos a la superficie del suelo, es decir horizontalmente, debido a que las estructuras se diseñan, rutinariamente, para resistir cargas verticales de gravedad. Por consiguiente, para fines de diseño el efecto mayor de un sismo se considera en función de una fuerza horizontal similar al efecto del viento.

El efecto de fuerza provocado por el movimiento es, por lo general, directamente proporcional al peso muerto de la estructura y al peso soportado por dicha estructura. También este peso determina, en parte, el carácter de la respuesta dinámica de la estructura.

Las otras influencias mayores en la respuesta de la estructura son su período fundamental de vibración y su efectividad en la absorción de energía. El período de vibración está determinado, básicamente por la masa, la rigidez y el tamaño de la estructura.

La eficacia energética está determinada por la elasticidad de la estructura y por varios factores, como la rigidez de los apoyos, el número de móviles independientes, la rigidez de las conexiones, etc.

Para el diseño de una torre de estructura de acero, que es una estructura esbelta, con uniones articuladas, flexible y ligera, entre la carga lateral de viento y la de sismo existe una relación de 4 a 1 aproximadamente.

Por esto mismo no se considera ésta última, al ser la carga crítica y la única considerada, la carga provocada por la presión del viento.

1.3. Sección transversal de la torre

Para proyectar una torre de telefonía celular, como cualquier otro proyecto estructural, es necesario determinar las proporciones más convenientes de la estructura, dimensionarla y dar detalle de los elementos de los que está compuesta, teniendo siempre presente la fase construcción.

La decisión más importante a tomar por el ingeniero diseñador, es la elección de la forma estructural más conveniente para satisfacer las diversas necesidades y objetivos de la torre solicitada por el cliente. Dicha estructura debe cumplir con las necesidades funcionales, económicas, estética, entre otras.

Para la elección de la sección de la torre y los elementos que la conforman, debe tomarse en cuenta los perfiles disponibles en el mercado, siempre y cuando cumplan con la norma ASTM A123, galvanizado en caliente de grado 36 y 50 para este medio. Ello debido a que en el mercado existe una variedad de perfiles. Están los regulares, cuya demanda es alta y por consiguiente su costo es bajo, y los especiales, cuyo uso es menos frecuente, lo que hace elevado su costo debido a la irregularidad en la fabricación de los mismos. A su vez se deberá tomar en cuenta los requerimientos solicitados por el cliente.

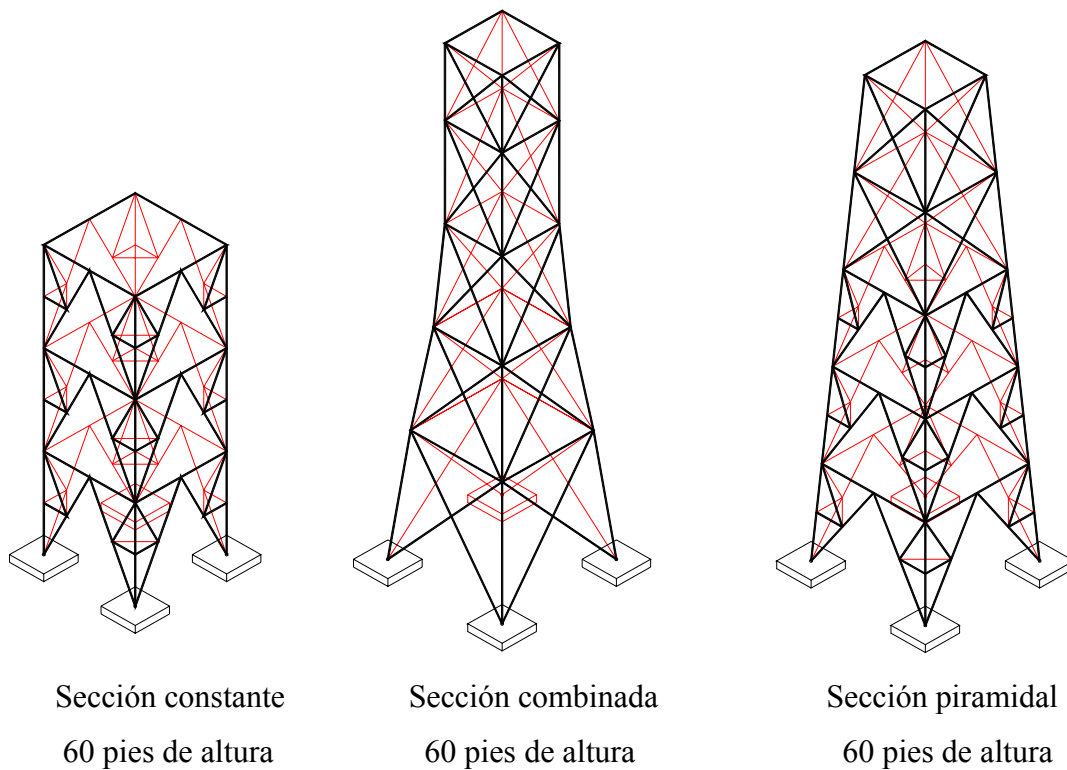
Se debe prever la fase de construcción y la necesidad inmediata de la torre, ya que existen diversos métodos, unos con mayor eficiencia pero de mayor costo, y otros cuyo montaje toma más tiempo pero de igual manera los costos pueden reducirse considerablemente.

Actualmente existe una amplia gama de secciones de torres, pero las más populares y utilizadas por su balance entre economía, funcionalidad y facilidad de construcción, son las torres de sección triangular y las de sección cuadrada.

1.3.1. Torres de sección cuadrada

Existen distintos diseños de torres con sección cuadrada, éstas pueden ser de sección constante, de forma piramidal y de una forma combinada, es decir sus primeras secciones proyectan una forma cónica y finalizan con sección permanente, (ver figura 9).

Figura 9. Torres de sección cuadrada



Estas torres generalmente se utilizan cuando el sistema de telefonía requiere la ubicación de un número considerable de antenas y equipo, ya que al disponer de cuatro caras, su área disponible se incrementa para la ubicación de las mismas.

Los elementos que conforman las torres de sección cuadrada usualmente son angulares de lados iguales, ya que por ser un cuadrado es fácil y práctica la utilización de este perfil.

Este tipo de torres tiene la desventaja de ser antieconómicas, ya que por tener cuatro caras, el volumen de acero requerido para la fabricación de la misma es elevado, aumenta así su peso y costo, lo mismo sucede con la pintura y el galvanizado, ya que el área superficial se incrementa con respecto al de una de sección triangular.

La construcción y montaje de este tipo de torres es relativamente laboriosa, esto debido a la gran cantidad de empalmes que posee, que hace prolongada la fase de construcción y montaje de la misma.

1.3.2. Torres de sección triangular

En la actualidad para la telefonía celular, las torres autosoportadas de sección triangular son las de mayor demanda en el mercado local, esto debido a que cuentan con el área suficiente para la ubicación de las antenas y equipos en solamente tres sectores.

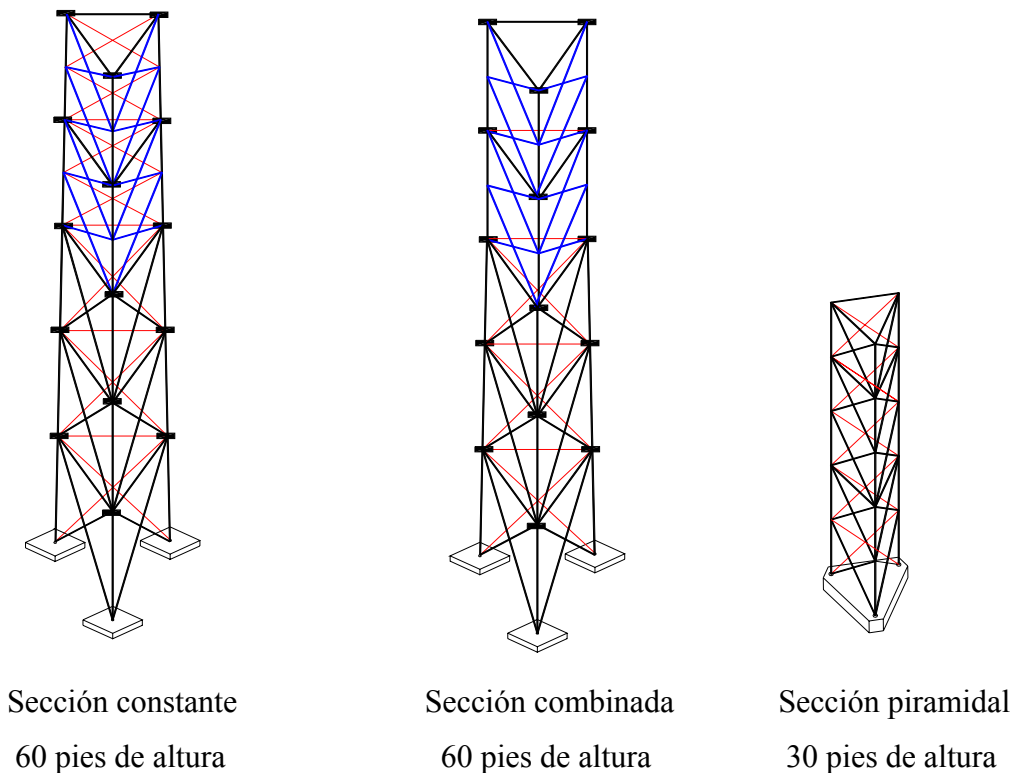
Este tipo de torres cuentan con ventajas económicas, ya que posee una cara menos que las torres de sección cuadrada, lo que las hace más livianas, debido al menor volumen de acero, y con esto el área superficial para pintarla y galvanizarla se reduce.

Generalmente las torres de sección triangular están compuestas por elementos de secciones tubulares y angulares, para la ubicación de los montantes y de las diagonales respectivamente.

Tanto las torres de sección triangular como las torres de sección cuadrada necesitan la misma cantidad de personal para la fase de construcción y montaje, con la diferencia que en las torres de sección triangular esta fase se efectúa en menor tiempo.

Al igual que las torres de sección cuadrada, las torres de sección triangular pueden ser de sección constante, pueden tener una proyección piramidal y pueden tener una proyección piramidal en las primeras secciones y constante en las últimas. (Ver figura 10).

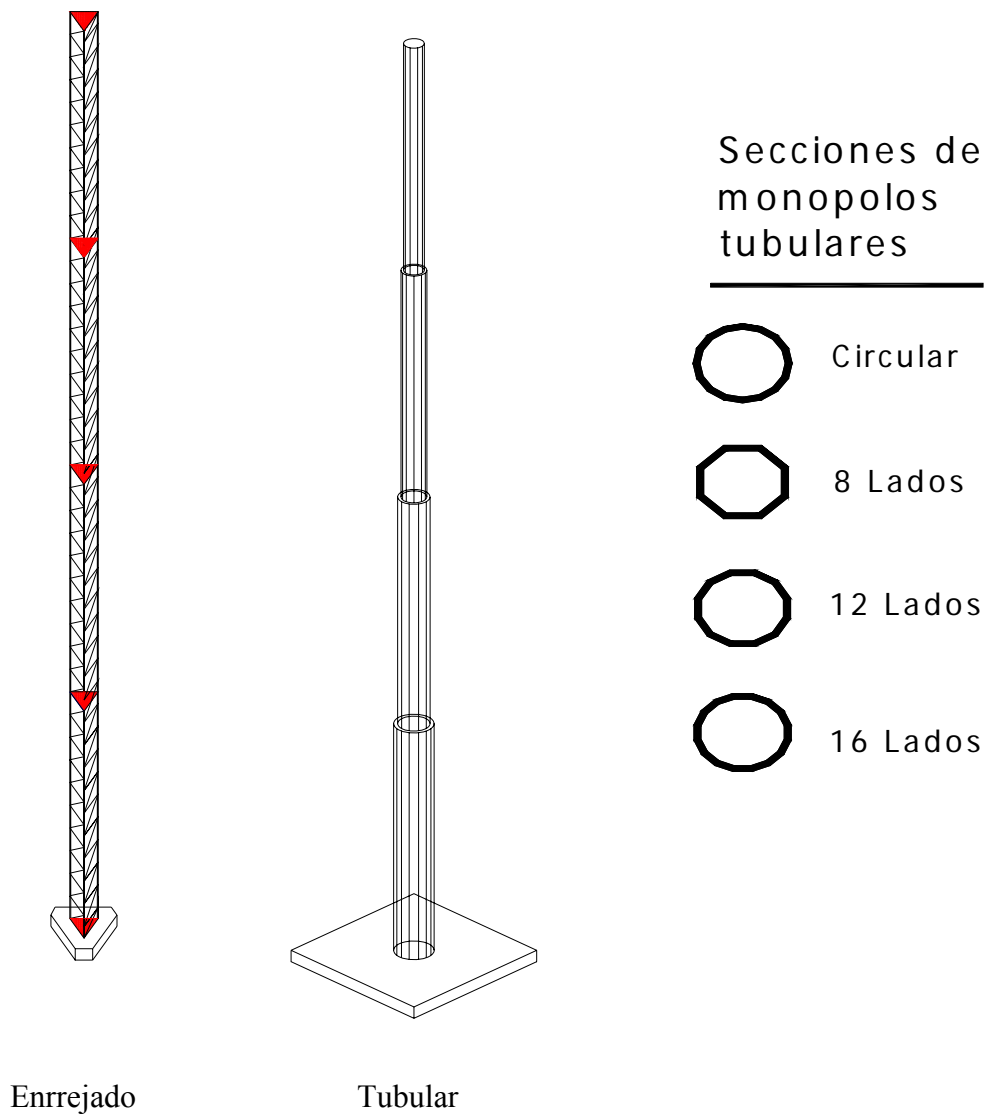
Figura 10. Torres de sección triangular



1.3.3 Otras secciones

Existen distintos tipos de secciones; el uso de las mismas depende de los requisitos y necesidades del cliente. Una sección de menor demanda en el mercado, pero que sigue siendo común, son los distintos tipos de monopolos. Dicha estructura pueden ser tipo enrejado o tipo tubular de sección circular, de 8, 12 y 16 lados, (ver figura 11).

Figura 11. Monopolos



Este tipo de secciones a diferencia de las secciones triangulares y cuadradas, tienen la gran ventaja de que el área de cimentación que se requiere para su ubicación es reducida, y se pueden instalar en terrenos de menor área disponible.

La construcción y montaje de la sección mencionada es la de mayor rapidez y de menor personal requerido; aunque a la vez el costo de montaje es elevado ya que se necesita el uso de una grúa con una extensión requerida según la altura del monopolo a instalar. Por consiguiente debe haber suficiente área disponible en el momento del montaje para la ubicación y manipulación de la grúa.

Este tipo de torres tiene la desventaja de requerir un mayor volumen de acero para su fabricación, lo que aumenta considerablemente su peso. Así mismo, el área superficial de galvanizado es superior que las demás. Por lo expuesto anteriormente, este tipo de torres es el menos viable económicamente.

1.4 Uso del embreisado diagonal

La fuerza provocada por la presión del viento es aplicada para efectos de análisis en los nudos de la estructura, actuando en ellos mismos las fuerzas de reacción interna. Dichas fuerzas son absorbidas por los elementos estructurales que conforman dicha torre, estos son los montantes o elementos principales, y las diagonales como elementos secundarios.

Los esfuerzos inducidos en la estructura, pueden hacer que ésta sea demasiado flexible, lo cual hace que el movimiento oscilatorio de la misma perjudique la calidad del sistema de comunicación. En otras palabras, la función de las diagonales es proporcionar suficiente rigidez a la torre para evitar dicho fenómeno.

Las diagonales son miembros que teóricamente no soportan cargas muertas ajenas a su propio peso, ni cargas vivas que no sean otras que las causadas por el viento.

Estas actúan únicamente soportando las fuerzas inducidas, en forma de cargas axiales, a compresión y tensión. A su vez deben ser capaces de resistir la carga perpendicular debido a la presión del viento, ya que dicho esfuerzo puede hacer pandear a la misma.

La sección del elemento a utilizar puede depender más del tipo de su conexión en el extremo que de cualquier otro factor. Uno de los perfiles más sencillos, utilizado como diagonales es el redondo o barra de sección circular. Dicho perfil presenta inconvenientes en la elaboración de las juntas, ya que las mismas deben ser planas.

Los redondos de las medidas ordinarias tienen baja rigidez y pueden flexionarse fácilmente por su propio peso, y perjudicar la apariencia de la estructura. Otra desventaja de los redondos es la dificultad de fabricarlos con longitudes exactas, presentándose dificultades en el momento de la instalación.

A diferencia de los redondos, los angulares tienen muchas ventajas, entre ellas su facilidad en la fabricación y ensamblaje en obra, con lo que se tiene mayor rigidez que con un tubo circular, ambos con la misma área transversal. Los angulares de lados iguales resultan más económicos que los de lados desiguales, esto debido a que su radio de giro es de mayor valor para la misma área.

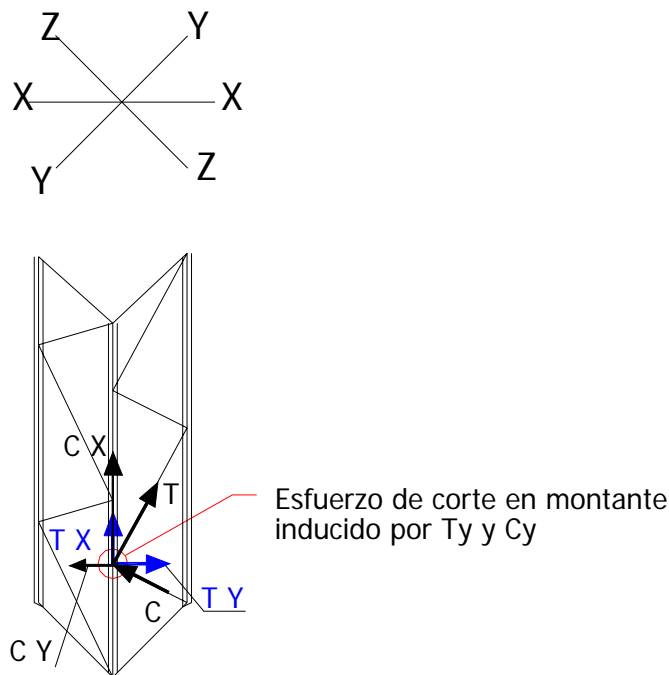
1.4.1. **Diagonal simple**

Las diagonales son elementos estructurales de segundo orden, diseñadas para que funcionen soportando cargas axiales, tanto a tensión como a compresión, ésta última es la carga crítica.

El uso de las diagonales en un sentido, tiene la ventaja de necesitar poco material para la fabricación de la torre, haciéndola más liviana y económica. Así mismo el área de contacto con el viento es menor, por lo tanto los esfuerzos inducidos se reducirán considerablemente.

Una de las desventajas que presentan este tipo de diagonal son los esfuerzos de corte producidos en los montantes, debido a que en cada nudo solamente concurren dos diagonales, actuando una a tensión y la otra a compresión. (Ver figura 12).

Figura 12. Uso de diagonal simple



Este tipo de diagonales generalmente es usado en torres de sección cuadrada de base pequeña y en torres arriostradas, ya que las diagonales son de pequeña longitud, y con esto la esbeltez de dichos elementos es pequeña, para trabajar sin ningún problema los esfuerzos de compresión.

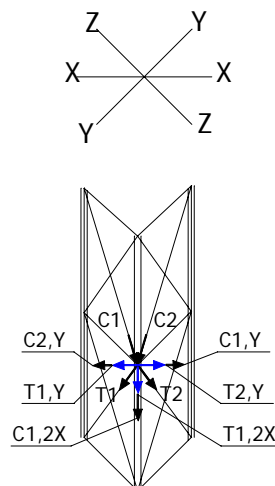
1.4.2. Diagonal doble

Generalmente toda torre empleada para telefonía celular utiliza diagonales dobles, ya que por la altura de las mismas su base se incrementa, y hace que las diagonales se ubiquen en tramos largos, incrementan así su relación de esbeltez y con esto su susceptibilidad al pandeo por compresión; por lo mismo es necesario colocar una en sentido opuesto para reducir dicho efecto, sujetándose entre ellas en el punto de intersección.

Al utilizar diagonales dobles no sólo se reduce la relación de esbeltez, sino también se hace que los esfuerzos inducidos en los elementos secundarios sean distribuidos en dos, trabajando uno a compresión y el otro a tensión simultáneamente en el mismo tramo y en la misma cara.

Cuando se dispone de diagonales dobles, en un nudo concurren cuatro, actuando dos a tensión y dos a compresión, se logra con esto que los esfuerzos de corte en los montantes sean despreciables, ver figura 13.

Figura 13. **Uso de diagonal doble**

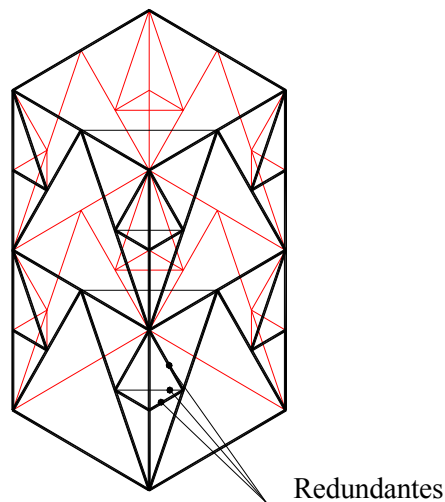


1.4.3. Otras formas de embreizado

Muchas veces se requiere del uso de diagonales muy largas. Cuando las dimensiones de las mismas están por encima del límite de relación de esbeltez, es necesario aumentar el ancho y espesor de dichos miembros. Al aumentar dichas dimensiones, también se incrementa el peso de la pieza y con esto el peso total de la estructura, elevando el costo de fabricación de la misma. Así mismo la pieza puede pandearse por su propio peso.

Para evitar dichos inconvenientes, el diseñador se ve obligado a apoyarse de otros elementos llamados redundantes o diagonales auxiliares. Estos elementos se ubican al centro de las diagonales principales de manera que se reduce la luz entre apoyos de las mismas, y disminuye así mismo su relación de esbeltez. (Ver figura 14).

Figura 14. **Uso de redundantes**

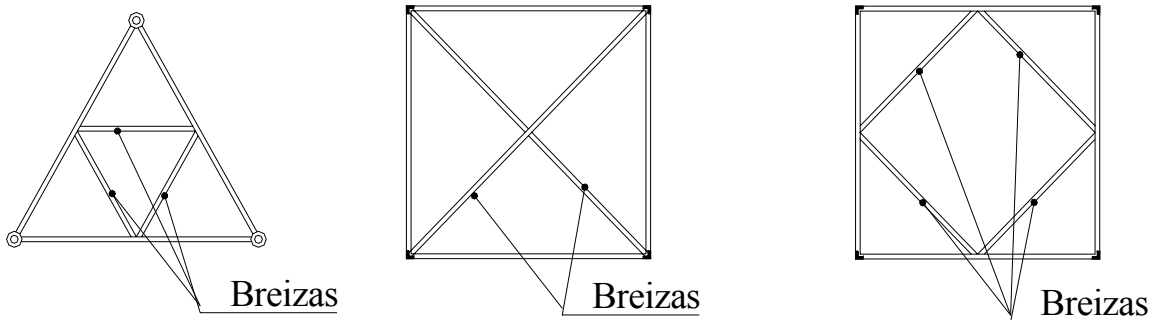


Los redundantes trabajan únicamente a tensión y actúan en el momento en que la diagonal está sometida a esfuerzos de compresión que tienden a pandearla.

Al realizar el análisis estructural de una torre, es común suponer que la fuerza en los redundantes es nula, lo que permite llevar a cabo el estudio por los principios de estática. Es una suposición común al revisar una torre con embreizado en dos sentidos, aunque, con los actuales programas esto ya no es problema.

Hay casos en que debido a la altura de la torre con base de gran tamaño, y a la elevadas velocidades de viento, los momentos torsores pueden afectar a la estructura. En dichos casos es necesario colocar breizas auxiliares en el plano de la sección de la torre para contrarrestar dichos esfuerzos. (Ver figura 15).

Figura 15. **Uso de diafragmas o breizas auxiliares**



1.5 Efectos de longitud de traslapae

En el mercado guatemalteco los perfiles estructurales de acero comunmente tienen una longitud de 20 pies, equivalente a 6.00 m, aunque también es posible obtener dichos elementos con longitud de 40 pies ó 12.00 m. estos últimos se solicitan con pedidos especiales.

Los primeros perfiles mencionados, son los más utilizados en nuestro medio, ya que en un 95% de los casos satisfacen con las con las longitudes necesarias. A si mismo por su pequeña longitud, presentan mayor facilidad para transportarlos hacia la obra y una mayor comodidad de manipulación durante la fase de construcción.

Generalmente las torres de base ancha requieren el uso de diagonales con longitudes mayores a los 20 pies ó 6.00 m. En esta situación es necesario realizar uniones o traslapas para hacer continuo el miembro y con esto el esfuerzo al que éste está sometido.

Lo mismo sucede en las torres de sección cuadrada, cuyos elementos principales generalmente están compuestos por perfiles angulares.

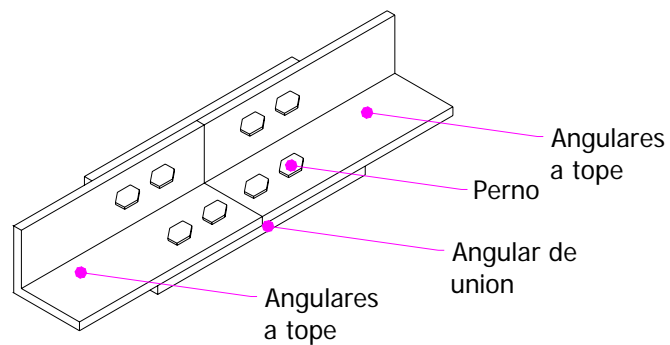
Son dos tipos de uniones las que se emplean, las uniones que usan pernos y las soldadas. El uso de las mismas queda a criterio del diseñador y al interés del cliente.

1.5.1. Por requerimiento de pieza

Cuando se realizan empalmes de diagonales con perfil angular utilizando pernos, se deberán colocar de punta los angulares a unir, sobreponiéndose a estos un angular con mayor área transversal y a su vez menor relación de esbeltez.

Este angular de traslape deberá ser sujetado como mínimo por dos pernos en cada lado, y en cada angular de unión, dispuestos de forma alterna para facilitar la colocación de los mismos. (Ver figura 16).

Figura 16. **Uniones de punta con pernos**

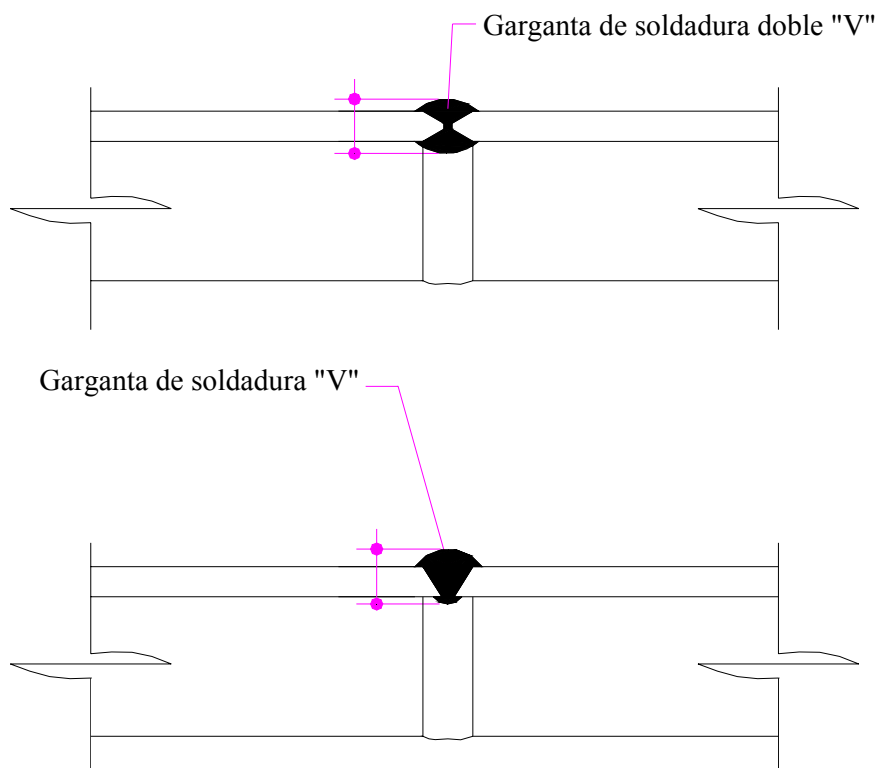


De acuerdo a especificaciones AISC, el diseño del empalme deberá hacerse para el valor mayor que resulte de calcular el esfuerzo máximo o el 50% de la resistencia del miembro.

El espaciamiento entre dos pernos debe tener un valor mínimo de 2.5 veces el diámetro del mismo, y la distancia hacia extremos del miembro de 1.5, de acuerdo a especificaciones AISC.

Otra forma común de realizar empalmes de angulares es por medio de soldadura eléctrica. Para realizar dicha unión, denominada a tope, los extremos de los angulares a unir deberán prepararse en forma de “V” o “doble V” para proveer mayor penetración. La preparación se realiza utilizando un esmeril. (Ver figura 17).

Figura 17. Uniones de punta con soldadura



Las soldaduras deberán realizarse para soportar un esfuerzo equivalente al 125 % del esfuerzo permitido por la sección del elemento.

El operador que realice la soldadura deberá ser previamente calificado por pruebas descritas en “*Standard Qualification Procedure*” de la “*American Welding Society*”, como se menciona en TIA/EIA-222-F.

En la construcción moderna, la economía y la eficiencia han demostrado que las uniones realizadas con soldaduras deben efectuarse en fábrica, mientras que las uniones mediante pernos en campo.

1.5.2. Por solicitud del interesado

Hay ocasiones en que el interesado solicita que las diagonales a utilizar sean conformadas por un solo elemento, es decir sin uniones ni traslapes. Dicha solicitud es posible, si se tiene en cuenta siempre los factores a favor y en contra.

Una diagonal sin traslape, estéticamente da mejor apariencia. Sin embargo, en nuestro medio por ser un perfil de baja demanda, la solicitud de dicha sección puede tomar tiempo para hacerlo llegar, ya que es necesario hacer un pedido especial. Así mismo el costo total se incrementa ya que el desperdicio es mayor.

2.2 Torre de sección cuadrada con diagonal simple

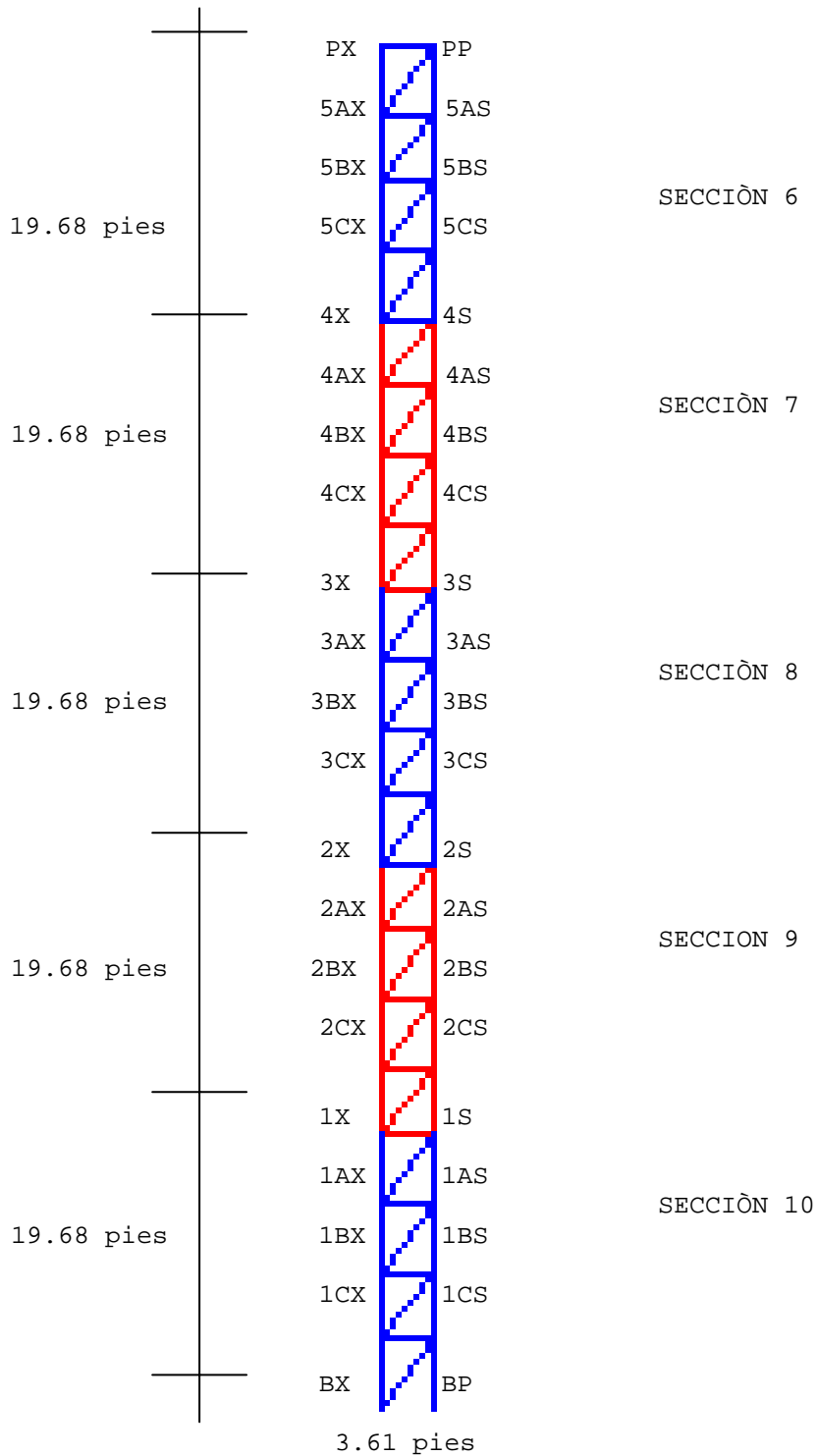
Realizar el diseño estructural de una torre para telefonía celular con altura de 98.43 ft, equivalente a 30.00 m, (ver figura 20). La estructura debe ser autoportada y de sección cuadrada. La velocidad local del viento es de 60 mph, y se encuentra ubicada a 9.84 ft de altura del nivel de referencia, en un valle. Se utilizará el diseño de velocidad de viento uniforme.

Existen diversos programas de computadoras para realizar análisis estructurales.

Solución:

Para realizar el diseño de dicha torre se utiliza el programa “*Power Line System*”, el cual es un programa específico para efectuar análisis y diseños de torres de telecomunicaciones, para ello se contó con la colaboración de Industria Técnica Metálica (ITM), quién cuenta con la respectiva licencia para su uso.

Figura 20. Torre de secció quadrada con diagonal simple



- Primero se identifican y nombran los nudos o juntas inferiores y superiores de la estructura de la forma BP, PP, BX, BXY, BY, PX, PXY y PY, se indica su simetría y los ejes en que se generan, tal como se indica en la figura 19, así mismo se asignan coordenadas en un sistema tridimensional. Por ser una estructura con uniones articuladas se indica que su rotación y desplazamiento de nudos es libre, “free”, a excepción de los nudos BP, BX, BXY y PX, los cuales están empotrados en el cimiento y por lo mismo deberán ser calculadas sus reacciones “fixed”.

Joints geometry:

Joint Label	Symmetry Code	XCoord. (ft)	YCoord. (ft)	ZCoord. (ft)	XDisp. Rest.	YDisp. Rest.	ZDisp. Rest.	XRot. Rest.	YRot. Rest.	ZRot. Rest.
BP	XY-Symmetry	1.804	1.804	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
PP	XY-Symmetry	1.804	1.804	98.43	Free	Free	Free	Free	Free	Free
BX	X-GenXY	1.804	-1.804	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
BXY	XY-GenXY	-1.804	-1.804	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
BY	Y-GenXY	-1.804	1.804	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
PX	X-GenXY	1.804	-1.804	98.43	Free	Free	Free	Free	Free	Free
PXY	XY-GenXY	-1.804	-1.804	98.43	Free	Free	Free	Free	Free	Free
P	Y-GenXY	-1.804	1.804	98.43	Free	Free	Free	Free	Free	Free

- Seguidamente se identifican y nombran los nudos o juntas en el inicio y fin de cada sección, de la forma 1S, 2S, 3S, 4S, (ver figura 18), se indica su simetría en ambos ejes; así mismo, se indica su elevación correspondiente. En la misma tabla se ubican los nudos secundarios de acuerdo a la fracción de la sección que corresponde con respecto a su nudo principal anterior de forma descendente. Por ejemplo, el nudo 1AS, su fracción es 0.25 de 19.68 pies, es decir a 4.92 pies del nudo 1S. Igualmente deberá indicarse que estos nudos son libres de rotación y traslación, “free”. A los nudos principales se les asigna una elevación con respecto al nivel del suelo, mientras que los secundarios se ubican con respecto a su nudo principal.

Secondary joints:

Joint Label	Symmetry Code	Origin Joint	End Joint	Frac	Elev. (ft)	XDisp. Rest.	YDisp. Rest.	ZDisp. Rest.	XRot. Rest.	YRot. Rest.	ZRot. Rest.
1S	XY-Symmetry	BP	PP	0	19.69	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2S	XY-Symmetry	BP	PP	0	39.37	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3S	XY-Symmetry	BP	PP	0	59.06	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4S	XY-Symmetry	BP	PP	0	78.74	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1AS	XY-Symmetry	BP	1S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1BS	XY-Symmetry	BP	1S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1CS	XY-Symmetry	BP	1S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2AS	XY-Symmetry	1S	2S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2BS	XY-Symmetry	1S	2S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free

2CS	XY-Symmetry	1S	2S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3AS	XY-Symmetry	2S	3S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3BS	XY-Symmetry	2S	3S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3CS	XY-Symmetry	2S	3S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4AS	XY-Symmetry	3S	4S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4BS	XY-Symmetry	3S	4S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4CS	XY-Symmetry	3S	4S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5AS	XY-Symmetry	4S	PP	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5BS	XY-Symmetry	4S	PP	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5CS	XY-Symmetry	4S	PP	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1X	X-GenXY	BP	PP	0	19.69	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1XY	XY-GenXY	BP	PP	0	19.69	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1Y	Y-GenXY	BP	PP	0	19.69	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2X	X-GenXY	BP	PP	0	39.37	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2XY	XY-GenXY	BP	PP	0	39.37	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2Y	Y-GenXY	BP	PP	0	39.37	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3X	X-GenXY	BP	PP	0	59.06	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3XY	XY-GenXY	BP	PP	0	59.06	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3Y	Y-GenXY	BP	PP	0	59.06	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4X	X-GenXY	BP	PP	0	78.74	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4XY	XY-GenXY	BP	PP	0	78.74	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4Y	Y-GenXY	BP	PP	0	78.74	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1AX	X-GenXY	BP	1S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1AXY	XY-GenXY	BP	1S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1AY	Y-GenXY	BP	1S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1BX	X-GenXY	BP	1S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1BXY	XY-GenXY	BP	1S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1BY	Y-GenXY	BP	1S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1CX	X-GenXY	BP	1S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1CXY	XY-GenXY	BP	1S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
1CY	Y-GenXY	BP	1S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2AX	X-GenXY	1S	2S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2AXY	XY-GenXY	1S	2S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2AY	Y-GenXY	1S	2S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2BX	X-GenXY	1S	2S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2BXY	XY-GenXY	1S	2S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2BY	Y-GenXY	1S	2S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2CX	X-GenXY	1S	2S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2CXY	XY-GenXY	1S	2S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
2CY	Y-GenXY	1S	2S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3AX	X-GenXY	2S	3S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3AXY	XY-GenXY	2S	3S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3AY	Y-GenXY	2S	3S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3BX	X-GenXY	2S	3S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3BXY	XY-GenXY	2S	3S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3BY	Y-GenXY	2S	3S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3CX	X-GenXY	2S	3S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3CXY	XY-GenXY	2S	3S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
3CY	Y-GenXY	2S	3S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4AX	X-GenXY	3S	4S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4AXY	XY-GenXY	3S	4S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4AY	Y-GenXY	3S	4S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4BX	X-GenXY	3S	4S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4BXY	XY-GenXY	3S	4S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4BY	Y-GenXY	3S	4S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4CX	X-GenXY	3S	4S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4CXY	XY-GenXY	3S	4S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
4CY	Y-GenXY	3S	4S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5AX	X-GenXY	4S	PP	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5AXY	XY-GenXY	4S	PP	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5AY	Y-GenXY	4S	PP	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5BX	X-GenXY	4S	PP	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5BXY	XY-GenXY	4S	PP	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5BY	Y-GenXY	4S	PP	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5CX	X-GenXY	4S	PP	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5CXY	XY-GenXY	4S	PP	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
5CY	Y-GenXY	4S	PP	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free

- Después se nombran e indican las propiedades estructurales de los materiales de acero que se utilizarán, estos son de grado 36 para elementos principales y secundarios . Estas propiedades cumplen con las normas AISC.

Steel material properties:

Steel Material Label	Modulus of Elasticity (ksi)	Yield Stress Fy (ksi)	Ultimate Stress Fu (ksi)
A 36	2.9e+004	36	48

- En el cuarto paso se determinan los tipos de elementos que conformarán la estructura de la torre, siendo estos “SAE” para elementos angulares. En este inciso se indican las propiedades físicas de los perfiles seleccionados. Estas propiedades los asigna automáticamente el programa, y corresponden a los valores indicados por el AISC. Queda pendiente comprobar que estos elementos soporten satisfactoriamente los esfuerzos obtenidos del análisis estructural.

Angle properties:

Angle Type	Angle Size	Long Leg (in)	Short Leg (in)	Thick. (in)	Unit Weight (lbs/ft)	Gross Area (in ²)	w/t Ratio	Radius of Gyration Rx (in)	Radius of Gyration Ry (in)	Radius of Gyration Rz (in)	Wind Width (in)
SAE	4X4X0.5	4	4	0.5	13	3.75	6.3	1.22	1.22	0.782	4
SAE	3X3X0.25	3	3	0.25	4.9	1.44	9.8	0.93	0.93	0.592	3
SAE	2X2X0.375	2	2	0.375	4.7	1.36	3	0.594	0.594	0.389	2
SAE	2X2X0.25	2	2	0.25	3.2	0.94	5	0.609	0.609	0.391	2
SAE	1.5X1.5X0.1875	1.5	1.5	0.1875	1.8	0.53	5	0.457	0.457	0.293	1.5

- Seguidamente se asigna un grupo al que pertenecen los elementos y se indican y clasifican como elementos principales “beam” o elementos secundarios “truss”.

Angle groups:

Group Label	Group Description	Angle Type	Angle Size	Material Type	Element Type	Group Type
P1	PATA 1	SAE	4X4X0.5	A 36	Beam	Leg
P2	PATA 2	SAE	4X4X0.5	A 36	Beam	Leg
P3	PATA 3	SAE	3X3X0.25	A 36	Beam	Leg
P4	PATA 4	SAE	2X2X0.25	A 36	Beam	Leg
P5	PATA 5	SAE	2X2X0.25	A 36	Beam	Leg
B1	BREIZA 1	SAE	2X2X0.375	A 36	Truss	Other
B2	BREIZA 2	SAE	1.5X1.5X0.1875	A 36	Truss	Other
B3	BREIZA 3	SAE	1.5X1.5X0.1875	A 36	Truss	Other
B4	BREIZA 4	SAE	1.5X1.5X0.1875	A 36	Truss	Other
B5	BREIZA 5	SAE	1.5X1.5X0.1875	A 36	Truss	Other

- El programa cuantifica automáticamente los distintos perfiles a utilizar.

Aggregate angle information:

Angle Type	Angle Size	Material Type	Total Length (ft)	Total Surface Area (ft^2)	Total Weight (lbs)
SAE	4X4X0.5	A 36	157.48	209.97	2015.75
SAE	3X3X0.25	A 36	78.74	78.74	385.83
SAE	2X2X0.25	A 36	157.48	104.99	502.36
SAE	2X2X0.375	A 36	148.17	98.78	696.39
SAE	1.5X1.5X0.1875	A 36	628.76	314.38	1131.77

- En este inciso se nombran los elementos y se indican a que grupo pertenecen, se indican los nudos y donde inician y finalizan los mismos. El programa asigna códigos de ecuaciones, 1 para elementos principales y 2 para diagonales. Así mismo indica la curva a que pertenece cada elemento para obtener el valor de K (tablas IV, V y VI).

Angle member connectivity:

Member Label	Group Label	Section Label	Symmetry Code	Origin Joint	End Joint	Ecc. Code	Rest. Code	Ratio RLX	Ratio RLY	Ratio RLZ
g1P	P1		XY-Symmetry	BP	1AS	1	4	1	1	1
g5P	P1		XY-Symmetry	1AS	1BS	1	4	1	1	1
g9P	P1		XY-Symmetry	1BS	1CS	1	4	1	1	1
g13P	P1		XY-Symmetry	1CS	1S	1	4	1	1	1
g17P	P2		XY-Symmetry	1S	2AS	1	4	1	1	1
g21P	P2		XY-Symmetry	2AS	2BS	1	4	1	1	1
g25P	P2		XY-Symmetry	2BS	2CS	1	4	1	1	1
g29P	P2		XY-Symmetry	2CS	2S	1	4	1	1	1
g33P	P3		XY-Symmetry	2S	3AS	1	4	1	1	1
g37P	P3		XY-Symmetry	3AS	3BS	1	4	1	1	1
g41P	P3		XY-Symmetry	3BS	3CS	1	4	1	1	1
g45P	P3		XY-Symmetry	3CS	3S	1	4	1	1	1
g49P	P4		XY-Symmetry	3S	4AS	1	4	1	1	1
g53P	P4		XY-Symmetry	4AS	4BS	1	4	1	1	1
g57P	P4		XY-Symmetry	4BS	4CS	1	4	1	1	1
g61P	P4		XY-Symmetry	4CS	4S	1	4	1	1	1
g65P	P5		XY-Symmetry	4S	5AS	1	4	1	1	1
g69P	P5		XY-Symmetry	5AS	5BS	1	4	1	1	1
g73P	P5		XY-Symmetry	5BS	5CS	1	4	1	1	1
g77P	P5		XY-Symmetry	5CS	PP	1	4	1	1	1
g81P	B1		Y-Symmetry	BX	1AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g83P	B1		Y-Symmetry	1AS	1AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g85P	B1		Y-Symmetry	1AX	1BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g87P	B1		Y-Symmetry	1BS	1BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g89P	B1		Y-Symmetry	1BX	1CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g91P	B1		Y-Symmetry	1CS	1CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g93P	B1		Y-Symmetry	1CX	1S	2	4	0.5	0.5	0.5
g95P	B1		Y-Symmetry	1S	1X	2	4	0.5	0.5	0.5
g97P	B2		Y-Symmetry	1X	2AS	2	4	0.5	0.5	0.5

g99P	B2	Y-Symmetry	2AS	2AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g101P	B2	Y-Symmetry	2AX	2BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g103P	B2	Y-Symmetry	2BS	2BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g105P	B2	Y-Symmetry	2BX	2CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g107P	B2	Y-Symmetry	2CS	2CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g109P	B2	Y-Symmetry	2CX	2S	2	4	0.5	0.5	0.5
g111P	B2	Y-Symmetry	2S	2X	2	4	0.5	0.5	0.5
g113P	B3	Y-Symmetry	2X	3AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g115P	B3	Y-Symmetry	3AS	3AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g117P	B3	Y-Symmetry	3AX	3BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g119P	B3	Y-Symmetry	3BS	3BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g121P	B3	Y-Symmetry	3BX	3CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g123P	B3	Y-Symmetry	3CS	3CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g125P	B3	Y-Symmetry	3CX	3S	2	4	0.5	0.5	0.5
g127P	B3	Y-Symmetry	3S	3X	2	4	0.5	0.5	0.5
g129P	B4	Y-Symmetry	3X	4AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g131P	B4	Y-Symmetry	4AS	4AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g133P	B4	Y-Symmetry	4AX	4BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g135P	B4	Y-Symmetry	4BS	4BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g137P	B4	Y-Symmetry	4BX	4CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g139P	B4	Y-Symmetry	4CS	4CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g141P	B4	Y-Symmetry	4CX	4S	2	4	0.5	0.5	0.5
g143P	B4	Y-Symmetry	4S	4X	2	4	0.5	0.5	0.5
g145P	B5	Y-Symmetry	4X	5AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g147P	B5	Y-Symmetry	5AS	5AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g149P	B5	Y-Symmetry	5AX	5BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g151P	B5	Y-Symmetry	5BS	5BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g153P	B5	Y-Symmetry	5BX	5CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g155P	B5	Y-Symmetry	5CS	5CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g157P	B5	Y-Symmetry	5CX	PP	2	4	0.5	0.5	0.5
g159P	B5	Y-Symmetry	PP	PX	2	4	0.5	0.5	0.5
g161P	B5	X-Symmetry	PX	PXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g163P	B5	X-Symmetry	PXY	5CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g165P	B5	X-Symmetry	5CX	5CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g167P	B5	X-Symmetry	5CXY	5BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g169P	B5	X-Symmetry	5BX	5BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g171P	B5	X-Symmetry	5BXY	5AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g173P	B5	X-Symmetry	5AX	5AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g175P	B5	X-Symmetry	5AXY	4X	2	4	0.5	0.5	0.5
g177P	B5	X-Symmetry	4X	4XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g179P	B4	X-Symmetry	4XY	4CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g181P	B4	X-Symmetry	4CX	4CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g183P	B4	X-Symmetry	4CXY	4BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g185P	B4	X-Symmetry	4BX	4BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g187P	B4	X-Symmetry	4BXY	4AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g189P	B4	X-Symmetry	4AX	4AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g191P	B4	X-Symmetry	4AXY	3X	2	4	0.5	0.5	0.5
g193P	B4	X-Symmetry	3X	3XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g195P	B3	X-Symmetry	3XY	3CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g197P	B3	X-Symmetry	3CX	3CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g199P	B3	X-Symmetry	3CXY	3BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g201P	B3	X-Symmetry	3BX	3BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g203P	B3	X-Symmetry	3BXY	3AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g205P	B3	X-Symmetry	3AX	3AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g207P	B3	X-Symmetry	3AXY	2X	2	4	0.5	0.5	0.5
g209P	B3	X-Symmetry	2X	2XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g211P	B2	X-Symmetry	2XY	2CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g213P	B2	X-Symmetry	2CX	2CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g215P	B2	X-Symmetry	2CXY	2BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g217P	B2	X-Symmetry	2BX	2BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g219P	B2	X-Symmetry	2BXY	2AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g221P	B2	X-Symmetry	2AX	2AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g223P	B2	X-Symmetry	2AXY	1X	2	4	0.5	0.5	0.5
g225P	B2	X-Symmetry	1X	1XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g227P	B1	X-Symmetry	1XY	1CX	2	4	0.5	0.5	0.5
g229P	B1	X-Symmetry	1CX	1CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g231P	B1	X-Symmetry	1CXY	1BX	2	4	0.5	0.5	0.5

g233P	B1	X-Symmetry	1BX	1BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g235P	B1	X-Symmetry	1BXY	1AX	2	4	0.5	0.5	0.5
g237P	B1	X-Symmetry	1AX	1AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g239P	B1	X-Symmetry	1AXY	BX	2	4	0.5	0.5	0.5
g1X	P1	X-GenXY	BX	1AX	1	4	1	1	1
g1XY	P1	XY-GenXY	BXY	1AXY	1	4	1	1	1
g1Y	P1	Y-GenXY	BY	1AY	1	4	1	1	1
g5X	P1	X-GenXY	1AX	1BX	1	4	1	1	1
g5XY	P1	XY-GenXY	1AXY	1BXY	1	4	1	1	1
g5Y	P1	Y-GenXY	1AY	1BY	1	4	1	1	1
g9X	P1	X-GenXY	1BX	1CX	1	4	1	1	1
g9XY	P1	XY-GenXY	1BXY	1CXY	1	4	1	1	1
g9Y	P1	Y-GenXY	1BY	1CY	1	4	1	1	1
g13X	P1	X-GenXY	1CX	1X	1	4	1	1	1
g13XY	P1	XY-GenXY	1CXY	1XY	1	4	1	1	1
g13Y	P1	Y-GenXY	1CY	1Y	1	4	1	1	1
g17X	P2	X-GenXY	1X	2AX	1	4	1	1	1
g17XY	P2	XY-GenXY	1XY	2AXY	1	4	1	1	1
g17Y	P2	Y-GenXY	1Y	2AY	1	4	1	1	1
g21X	P2	X-GenXY	2AX	2BX	1	4	1	1	1
g21XY	P2	XY-GenXY	2AXY	2BXY	1	4	1	1	1
g21Y	P2	Y-GenXY	2AY	2BY	1	4	1	1	1
g25X	P2	X-GenXY	2BX	2CX	1	4	1	1	1
g25XY	P2	XY-GenXY	2BXY	2CXY	1	4	1	1	1
g25Y	P2	Y-GenXY	2BY	2CY	1	4	1	1	1
g29X	P2	X-GenXY	2CX	2X	1	4	1	1	1
g29XY	P2	XY-GenXY	2CXY	2XY	1	4	1	1	1
g29Y	P2	Y-GenXY	2CY	2Y	1	4	1	1	1
g33X	P3	X-GenXY	2X	3AX	1	4	1	1	1
g33XY	P3	XY-GenXY	2XY	3AXY	1	4	1	1	1
g33Y	P3	Y-GenXY	2Y	3AY	1	4	1	1	1
g37X	P3	X-GenXY	3AX	3BX	1	4	1	1	1
g37XY	P3	XY-GenXY	3AXY	3BXY	1	4	1	1	1
g37Y	P3	Y-GenXY	3AY	3BY	1	4	1	1	1
g41X	P3	X-GenXY	3BX	3CX	1	4	1	1	1
g41XY	P3	XY-GenXY	3BXY	3CXY	1	4	1	1	1
g41Y	P3	Y-GenXY	3BY	3CY	1	4	1	1	1
g45X	P3	X-GenXY	3CX	3X	1	4	1	1	1
g45XY	P3	XY-GenXY	3CXY	3XY	1	4	1	1	1
g45Y	P3	Y-GenXY	3CY	3Y	1	4	1	1	1
g49X	P4	X-GenXY	3X	4AX	1	4	1	1	1
g49XY	P4	XY-GenXY	3XY	4AXY	1	4	1	1	1
g49Y	P4	Y-GenXY	3Y	4AY	1	4	1	1	1
g53X	P4	X-GenXY	4AX	4BX	1	4	1	1	1
g53XY	P4	XY-GenXY	4AXY	4BXY	1	4	1	1	1
g53Y	P4	Y-GenXY	4AY	4BY	1	4	1	1	1
g57X	P4	X-GenXY	4BX	4CX	1	4	1	1	1
g57XY	P4	XY-GenXY	4BXY	4CXY	1	4	1	1	1
g57Y	P4	Y-GenXY	4BY	4CY	1	4	1	1	1
g61X	P4	X-GenXY	4CX	4X	1	4	1	1	1
g61XY	P4	XY-GenXY	4CXY	4XY	1	4	1	1	1
g61Y	P4	Y-GenXY	4CY	4Y	1	4	1	1	1
g65X	P5	X-GenXY	4X	5AX	1	4	1	1	1
g65XY	P5	XY-GenXY	4XY	5AXY	1	4	1	1	1
g65Y	P5	Y-GenXY	4Y	5AY	1	4	1	1	1
g69X	P5	X-GenXY	5AX	5BX	1	4	1	1	1
g69XY	P5	XY-GenXY	5AXY	5BXY	1	4	1	1	1
g69Y	P5	Y-GenXY	5AY	5BY	1	4	1	1	1
g73X	P5	X-GenXY	5BX	5CX	1	4	1	1	1
g73XY	P5	XY-GenXY	5BXY	5CXY	1	4	1	1	1
g73Y	P5	Y-GenXY	5BY	5CY	1	4	1	1	1
g77X	P5	X-GenXY	5CX	PX	1	4	1	1	1
g77XY	P5	XY-GenXY	5CXY	PXY	1	4	1	1	1
g77Y	P5	Y-GenXY	5CY	PY	1	4	1	1	1
g81Y	B1	Y-Gen	BXY	1AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g83Y	B1	Y-Gen	1AY	1AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g85Y	B1	Y-Gen	1AXY	1BY	2	4	0.5	0.5	0.5

g87Y	B1	Y-Gen	1BY	1BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g89Y	B1	Y-Gen	1BXY	1CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g91Y	B1	Y-Gen	1CY	1CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g93Y	B1	Y-Gen	1CXY	1Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g95Y	B1	Y-Gen	1Y	1XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g97Y	B2	Y-Gen	1XY	2AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g99Y	B2	Y-Gen	2AY	2AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g101Y	B2	Y-Gen	2AXY	2BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g103Y	B2	Y-Gen	2BY	2BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g105Y	B2	Y-Gen	2BXY	2CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g107Y	B2	Y-Gen	2CY	2CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g109Y	B2	Y-Gen	2CXY	2Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g111Y	B2	Y-Gen	2Y	2XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g113Y	B3	Y-Gen	2XY	3AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g115Y	B3	Y-Gen	3AY	3AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g117Y	B3	Y-Gen	3AXY	3BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g119Y	B3	Y-Gen	3BY	3BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g121Y	B3	Y-Gen	3BXY	3CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g123Y	B3	Y-Gen	3CY	3CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g125Y	B3	Y-Gen	3CXY	3Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g127Y	B3	Y-Gen	3Y	3XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g129Y	B4	Y-Gen	3XY	4AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g131Y	B4	Y-Gen	4AY	4AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g133Y	B4	Y-Gen	4AXY	4BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g135Y	B4	Y-Gen	4BY	4BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g137Y	B4	Y-Gen	4BXY	4CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g139Y	B4	Y-Gen	4CY	4CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g141Y	B4	Y-Gen	4CXY	4Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g143Y	B4	Y-Gen	4Y	4XY	2	4	0.5	0.5	0.5
g145Y	B5	Y-Gen	4XY	5AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g147Y	B5	Y-Gen	5AY	5AXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g149Y	B5	Y-Gen	5AXY	5BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g151Y	B5	Y-Gen	5BY	5BXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g153Y	B5	Y-Gen	5BXY	5CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g155Y	B5	Y-Gen	5CY	5CXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g157Y	B5	Y-Gen	5CXY	PY	2	4	0.5	0.5	0.5
g159Y	B5	Y-Gen	PY	PXY	2	4	0.5	0.5	0.5
g161X	B5	X-Gen	PP	PY	2	4	0.5	0.5	0.5
g163X	B5	X-Gen	PY	5CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g165X	B5	X-Gen	5CS	5CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g167X	B5	X-Gen	5CY	5BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g169X	B5	X-Gen	5BS	5BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g171X	B5	X-Gen	5BY	5AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g173X	B5	X-Gen	5AS	5AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g175X	B5	X-Gen	5AY	4S	2	4	0.5	0.5	0.5
g177X	B5	X-Gen	4S	4Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g179X	B4	X-Gen	4Y	4CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g181X	B4	X-Gen	4CS	4CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g183X	B4	X-Gen	4CY	4BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g185X	B4	X-Gen	4BS	4BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g187X	B4	X-Gen	4BY	4AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g189X	B4	X-Gen	4AS	4AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g191X	B4	X-Gen	4AY	3S	2	4	0.5	0.5	0.5
g193X	B4	X-Gen	3S	3Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g195X	B3	X-Gen	3Y	3CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g197X	B3	X-Gen	3CS	3CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g199X	B3	X-Gen	3CY	3BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g201X	B3	X-Gen	3BS	3BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g203X	B3	X-Gen	3BY	3AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g205X	B3	X-Gen	3AS	3AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g207X	B3	X-Gen	3AY	2S	2	4	0.5	0.5	0.5
g209X	B3	X-Gen	2S	2Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g211X	B2	X-Gen	2Y	2CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g213X	B2	X-Gen	2CS	2CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g215X	B2	X-Gen	2CY	2BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g217X	B2	X-Gen	2BS	2BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g219X	B2	X-Gen	2BY	2AS	2	4	0.5	0.5	0.5

g221X	B2	X-Gen	2AS	2AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g223X	B2	X-Gen	2AY	1S	2	4	0.5	0.5	0.5
g225X	B2	X-Gen	1S	1Y	2	4	0.5	0.5	0.5
g227X	B1	X-Gen	1Y	1CS	2	4	0.5	0.5	0.5
g229X	B1	X-Gen	1CS	1CY	2	4	0.5	0.5	0.5
g231X	B1	X-Gen	1CY	1BS	2	4	0.5	0.5	0.5
g233X	B1	X-Gen	1BS	1BY	2	4	0.5	0.5	0.5
g235X	B1	X-Gen	1BY	1AS	2	4	0.5	0.5	0.5
g237X	B1	X-Gen	1AS	1AY	2	4	0.5	0.5	0.5
g239X	B1	X-Gen	1AY	BP	2	4	0.5	0.5	0.5

- A partir de los elementos seleccionados en el inciso 4 y sus longitudes entre nudos del inciso anterior, se calcula la relación de esbeltez de los distintos elementos, así como las capacidades a tensión y compresión de los mismos, y los esfuerzos de corte máximo en las juntas. (Ver sección 3.1 y 3.2 para el cálculo de los mismos).

Member capacities:

Member Group	Design	Comp.	Design	Tension	L/r	Length	L/r	Net	
Warnings	Label	Label	Comp.	Control	Tension	Control	Comp.	Section	
or Errors	Capacity	Criterion	Capacity	Criterion	Capacity	Tension	Capacity	Tension	
	(kips)		(kips)		(ft)	(kips)	(kips)	(kips)	
g1P	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g5P	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g9P	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g13P	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g17P	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g21P	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g25P	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g29P	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g33P	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g37P	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g41P	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g45P	P3	18.733	L/r	31.104	Sect	100	4.92	18.733	31.104
g49P	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g53P	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g57P	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g61P	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g65P	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g69P	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g73P	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g77P	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g81P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g83P	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g85P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g87P	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g89P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376

g225P	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g227P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g229P	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g231P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g233P	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g235P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g237P	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g239P	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g1X	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g1XY	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g1Y	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g5X	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g5XY	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g5Y	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g9X	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g9XY	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g9Y	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g13X	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g13XY	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g13Y	P1	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g17X	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g17XY	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g17Y	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g21X	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g21XY	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g21Y	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g25X	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g25XY	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g25Y	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g29X	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g29XY	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g29Y	P2	59.424	L/r	81.000	Net Sect	76	4.92	59.424	81.000
g33X	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g33XY	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g33Y	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g37X	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g37XY	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g37Y	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g41X	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g41XY	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g41Y	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g45X	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g45XY	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g45Y	P3	18.733	L/r	31.104	Net Sect	100	4.92	18.733	31.104
g49X	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g49XY	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g49Y	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g53X	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g53XY	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g53Y	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g57X	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g57XY	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g57Y	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g61X	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								
g61XY	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds	150.00								

g61Y	P4	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g65X	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g65XY	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g65Y	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g69X	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g69XY	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g69Y	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g73X	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g73XY	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g73Y	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g77X	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g77XY	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g77Y	P5	6.153	L/r	20.304	Net Sect	151	4.92	6.153	20.304
KL/R exceeds		150.00							
g81Y	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g83Y	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g85Y	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g87Y	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g89Y	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g91Y	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g93Y	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g95Y	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g97Y	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g99Y	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g101Y	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g103Y	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g105Y	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g107Y	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g109Y	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g111Y	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g113Y	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g115Y	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g117Y	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g119Y	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g121Y	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g123Y	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g125Y	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g127Y	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g129Y	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g131Y	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g133Y	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g135Y	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g137Y	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g139Y	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g141Y	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g143Y	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g145Y	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g147Y	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g149Y	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g151Y	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g153Y	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g155Y	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g157Y	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g159Y	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g161X	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448

g163X	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g165X	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g167X	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g169X	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g171X	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g173X	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g175X	B5	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g177X	B5	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g179X	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g181X	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g183X	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g185X	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g187X	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g189X	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g191X	B4	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g193X	B4	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g195X	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g197X	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g199X	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g201X	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g203X	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g205X	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g207X	B3	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g209X	B3	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g211X	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g213X	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g215X	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g217X	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g219X	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g221X	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g223X	B2	5.066	L/r	11.448	Net Sect	125	6.10	5.066	11.448
g225X	B2	7.812	L/r	11.448	Net Sect	74	3.61	7.812	11.448
g227X	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g229X	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g231X	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g233X	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g235X	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376
g237X	B1	22.097	L/r	29.376	Net Sect	56	3.61	22.097	29.376
g239X	B1	17.547	L/r	29.376	Net Sect	94	6.10	17.547	29.376

Nota: como se puede observar existen elementos principales cuya relación de esbeltez es de 151.4, aunque la máxima permitida por AISC es 150. Queda a criterio del diseñador si aumenta el perfil de estos elementos para reducir su relación de esbeltez o utiliza estos ya que el valor excedente es mínimo.

- A continuación se enlistan todos los nudos, principales y secundarios con sus elevaciones correspondientes.

EIA joint information:

Joint Label	Joint Elevation (ft)	Section Label
BP	0.000	1
PP	98.425	5
BX	0.000	1
BXY	0.000	1

BY	0.000	1
PX	98.425	5
PXY	98.425	5
PY	98.425	5
1S	19.685	2
2S	39.370	3
3S	59.055	4
4S	78.740	5
1AS	4.921	1
1BS	9.843	1
1CS	14.764	1
2AS	24.606	2
2BS	29.528	2
2CS	34.449	2
3AS	44.291	3
3BS	49.213	3
3CS	54.134	3
4AS	63.976	4
4BS	68.898	4
4CS	73.819	4
5AS	83.661	5
5BS	88.583	5
5CS	93.504	5
1X	19.685	2
1XY	19.685	2
1Y	19.685	2
2X	39.370	3
2XY	39.370	3
2Y	39.370	3
3X	59.055	4
3XY	59.055	4
3Y	59.055	4
4X	78.740	5
4XY	78.740	5
4Y	78.740	5
1AX	4.921	1
1AXY	4.921	1
1AY	4.921	1
1BX	9.843	1
1BXY	9.843	1
1BY	9.843	1
1CX	14.764	1
1CXY	14.764	1
1CY	14.764	1
2AX	24.606	2
2AXY	24.606	2
2AY	24.606	2
2BX	29.528	2
2BXY	29.528	2
2BY	29.528	2
2CX	34.449	2
2CXY	34.449	2
2CY	34.449	2
3AX	44.291	3
3AXY	44.291	3
3AY	44.291	3
3BX	49.213	3
3BXY	49.213	3
3BY	49.213	3
3CX	54.134	3
3CXY	54.134	3
3CY	54.134	3
4AX	63.976	4
4AXY	63.976	4
4AY	63.976	4
4BX	68.898	4
4BXY	68.898	4

4BY	68.898	4
4CX	73.819	4
4CXY	73.819	4
4CY	73.819	4
5AX	83.661	5
5AXY	83.661	5
5AY	83.661	5
5BX	88.583	5
5BXY	88.583	5
5BY	88.583	5
5CX	93.504	5
5CXY	93.504	5
5CY	93.504	5

- Seguidamente se determinan las dimensiones, cantidad de elementos y nudos de cada sección de la torre.

EIA sections information:

Section Label	Top Elevation (ft)	Bottom Elevation (ft)	Joint Count	Member Count	Top Width (ft)	Bottom Width (ft)	Gross Area (ft ²)	Face Adjust Factor	Face Ar Adjust Factor	Dead Load Factor
5	98.425	78.740	20	52	3.61	3.61	71.04	1.0000	1.0000	1.000
4	78.740	59.055	16	48	3.61	3.61	71.04	1.0000	1.0000	1.000
3	59.055	39.370	16	48	3.61	3.61	71.04	1.0000	1.0000	1.000
2	39.370	19.685	16	48	3.61	3.61	71.04	1.0000	1.0000	1.000
1	19.685	0.000	16	44	3.61	3.61	71.04	1.0000	1.0000	1.000

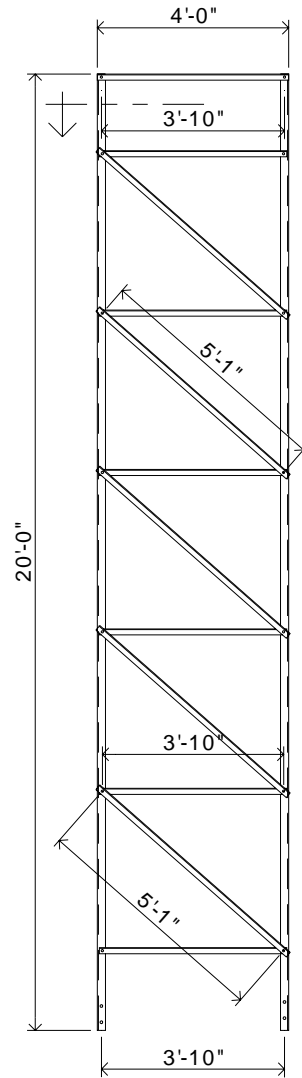
- Se indican los factores de carga para la velocidad de viento, la carga muerta y los esfuerzos permisibles. La carga muerta debido al hielo es cero.

Load Case Description	Dead Load Factor	Wind Load Factor	Ice Load Factor	Strength Allowable Factor	Stress Increase Factor	Basic Wind Speed (mph)	Wind Dir. (Deg)
carga	1.0000	1.0000	0.0010	1.0000	1.3300	60.000	0

- Con todos los datos anteriores, se calculan las cargas debido al viento en cada sección de la torre. Si se necesita saber la fuerza de viento en la sección 6 de la torre en mención:

A partir de la formula $F = Qz Gh [Cf Ae]$, se obtiene la figura 21 :

Figura 21. **Sección 6 de torre cuadrada**



Elementos que conforman esta sección:

2 angulares de 017 pies x 0.17 pies x 19.69 pies como montantes.

5 angulares de 0.125 pies x 0.125 pies x 4.90 pies como breizas diagonales.

7 angulares de 0.125 pies x 0.125 pies x 2.98 pies como breizas horizontales.

$Ag = \text{Base} * \text{Altura de sección}$

$$Ag = 19.69 \text{ pies} * 3.61 \text{ pies} = 71.00 \text{ pies}^2.$$

$$Qz = 0.00256 Kz V^2$$

$$Kz = [z/33]^{2/7} = 1.922 \text{ pies}$$

$$Qz = (0.00256) (1.922 \text{ pies}) (60 \text{ mph})^2$$

$$Qz = 12.26 \text{ lb/ pies}^2$$

$$Gh = 0.65 + 0.60/(h/33)^{1/7}$$

$$Gh = 0.65 + 0.60/(98.43/33)^{1/7}$$

$$Gh = 1.17$$

$$Qz * Gh = 14.21 \text{ lb/ pies}^2$$

$$Cf = 4 e^2 - 5.9 e + 4, e = (Af + Ar)/Ag$$

$$Af = 0.16 \text{ pies} * 19.69 \text{ pies} + (0.125 \text{ pies})(4.90 \text{ pies})(5) + (0.125 \text{ pies})(2.98 \text{ pies})(7)$$

$$Af = 11.9 \text{ pies}^2$$

$$Ar = 0$$

$$e = (11.9+0) / 71 = 0.17 \quad Cf = 4(0.17)^2 - 5.9(0.17) + 4$$

$$Cf = 3.13.$$

$$Ae = Df Af + Dr Ar Rr, \quad Rr = 0.51 e^2 + 0.57 = 0.59 \leq 1 \text{ ok}$$

Df y Dr = 1 de tabla II

$$Ae = (1)(11.9) + (1)(0)(0) = 11.9 \text{ pies}^2$$

$$F = 14.21 \text{ lb/pies}^2 (3.13 * 11.9 \text{ pies}^2) = 527 \text{ lb}$$

$$2 Qz Gh Ag = 2,036 \text{ lb}$$

$$F < 2 Qz Gh Ag, \text{ ok}$$

De igual manera se calcula la fuerza de viento F y el peso de la estructura para cada sección de la torre.

EIA section load case information for "carga":

Section Label	Top Elev. (ft)	Bottom Elev. (ft)	Average Gnd. Elev. (ft)	qzGh (psf)	Face AF (ft^2)	Face AG (ft^2)	Face e	Face DF	Face DR	Face RR	Face CF	Face AE (ft^2)	Face WF (lbs)	NotF CAF	NotF CAR	Total Wind (lbs)	Total Weight (lbs)
5	98.43	78.74	88.58	14.21	11.9	71.0	0.17	1.00	1.00	0.58	3.13	11.9	527	2.00	1.20	527	557
4	78.74	59.06	68.90	13.22	11.4	71.0	0.16	1.00	1.00	0.58	3.16	11.4	476	2.00	1.20	476	531
3	59.06	39.37	49.21	12.01	14.7	71.0	0.21	1.00	1.00	0.59	2.95	14.7	521	2.00	1.20	521	666
2	39.37	19.69	29.53	10.71	18.1	71.0	0.26	1.00	1.00	0.60	2.75	18.1	535	2.00	1.20	535	1309
1	19.69	0.00	9.84	10.71	19.0	71.0	0.27	1.00	1.00	0.61	2.71	19.0	551	2.00	1.20	551	1670

- A continuación el programa despliega todos los elementos con su identificación del grupo al que pertenecen. Proporciona los esfuerzos a tensión con signo positivo y los esfuerzos a compresión con signo negativo. Estos valores deberán compararse con las capacidades de los elementos descritos en el inciso 8.

Angle Forces For All Load Cases:

Positive for tension - negative for compression

Group Label	Angle Label	Max. Tens. For All LC (kips)	Max. Comp. For All LC (kips)	LC 1 (kips)
P1	g1P	0.000	-16.167	-16.167
P1	g5P	0.000	-14.472	-14.472
P1	g9P	0.000	-12.885	-12.885
P1	g13P	0.000	-11.337	-11.337
P2	g17P	0.000	-9.978	-9.978
P2	g21P	0.000	-8.667	-8.667
P2	g25P	0.000	-7.455	-7.455
P2	g29P	0.000	-6.344	-6.344
P3	g33P	0.000	-5.342	-5.342
P3	g37P	0.000	-4.449	-4.449
P3	g41P	0.000	-3.631	-3.631
P3	g45P	0.000	-2.909	-2.909
P4	g49P	0.000	-2.273	-2.273
P4	g53P	0.000	-1.719	-1.719
P4	g57P	0.000	-1.246	-1.246
P4	g61P	0.000	-0.855	-0.855
P5	g65P	0.000	-0.540	-0.540
P5	g69P	0.000	-0.297	-0.297

P5	g73P	0.000	-0.127	-0.127
P5	g77P	0.000	-0.027	-0.027
B1	g81P	0.000	-0.052	-0.052
B1	g83P	0.050	0.000	0.050
B1	g85P	0.003	0.000	0.003
B1	g87P	0.000	-0.018	-0.018
B1	g89P	0.005	0.000	0.005
B1	g91P	0.001	0.000	0.001
B1	g93P	0.003	0.000	0.003
B1	g95P	0.000	-0.002	-0.002
B2	g97P	0.001	0.000	0.001
B2	g99P	0.000	-0.000	-0.000
B2	g101P	0.001	0.000	0.001
B2	g103P	0.001	0.000	0.001
B2	g105P	0.000	-0.004	-0.004
B2	g107P	0.000	-0.002	-0.002
B2	g109P	0.013	0.000	0.013
B2	g111P	0.000	0.000	0.000
B3	g113P	0.000	-0.014	-0.014
B3	g115P	0.004	0.000	0.004
B3	g117P	0.002	0.000	0.002
B3	g119P	0.001	0.000	0.001
B3	g121P	0.000	-0.004	-0.004
B3	g123P	0.001	0.000	0.001
B3	g125P	0.000	-0.001	-0.001
B3	g127P	0.001	0.000	0.001
B4	g129P	0.000	-0.004	-0.004
B4	g131P	0.002	0.000	0.002
B4	g133P	0.000	-0.002	-0.002
B4	g135P	0.001	0.000	0.001
B4	g137P	0.000	-0.003	-0.003
B4	g139P	0.001	0.000	0.001
B4	g141P	0.000	-0.002	-0.002
B4	g143P	0.001	0.000	0.001
B5	g145P	0.000	-0.002	-0.002
B5	g147P	0.001	0.000	0.001
B5	g149P	0.000	-0.001	-0.001
B5	g151P	0.001	0.000	0.001
B5	g153P	0.000	-0.001	-0.001
B5	g155P	0.000	0.000	0.000
B5	g157P	0.000	-0.000	-0.000
B5	g159P	0.000	0.000	0.000
B5	g161P	0.027	0.000	0.027
B5	g163P	0.000	-0.090	-0.090
B5	g165P	0.079	0.000	0.079
B5	g167P	0.000	-0.179	-0.179
B5	g169P	0.132	0.000	0.132
B5	g171P	0.000	-0.268	-0.268
B5	g173P	0.185	0.000	0.185
B5	g175P	0.000	-0.358	-0.358
B5	g177P	0.238	0.000	0.238
B4	g179P	0.000	-0.447	-0.447
B4	g181P	0.294	0.000	0.294
B4	g183P	0.000	-0.548	-0.548
B4	g185P	0.354	0.000	0.354
B4	g187P	0.000	-0.649	-0.649
B4	g189P	0.413	0.000	0.413
B4	g191P	0.000	-0.749	-0.749
B4	g193P	0.471	0.000	0.471
B3	g195P	0.000	-0.847	-0.847
B3	g197P	0.534	0.000	0.534
B3	g199P	0.000	-0.961	-0.961
B3	g201P	0.599	0.000	0.599
B3	g203P	0.000	-1.070	-1.070
B3	g205P	0.663	0.000	0.663
B3	g207P	0.000	-1.178	-1.178
B3	g209P	0.726	0.000	0.726

B2 g211P	0.000	-1.281	-1.281
B2 g213P	0.792	0.000	0.792
B2 g215P	0.000	-1.400	-1.400
B2 g217P	0.862	0.000	0.862
B2 g219P	0.000	-1.523	-1.523
B2 g221P	0.918	0.000	0.918
B2 g223P	0.000	-1.580	-1.580
B2 g225P	0.985	0.000	0.985
B1 g227P	0.000	-1.784	-1.784
B1 g229P	1.075	0.000	1.075
B1 g231P	0.000	-1.836	-1.836
B1 g233P	1.121	0.000	1.121
B1 g235P	0.000	-2.023	-2.023
B1 g237P	1.197	0.000	1.197
B1 g239P	0.000	-1.932	-1.932
P1 g1X	0.000	-16.225	-16.225
P1 g1XY	15.563	0.000	15.563
P1 g1Y	15.495	0.000	15.495
P1 g5X	0.000	-14.491	-14.491
P1 g5XY	14.159	0.000	14.159
P1 g5Y	14.219	0.000	14.219
P1 g9X	0.000	-12.911	-12.911
P1 g9XY	12.616	0.000	12.616
P1 g9Y	12.643	0.000	12.643
P1 g13X	0.000	-11.370	-11.370
P1 g13XY	11.241	0.000	11.241
P1 g13Y	11.283	0.000	11.283
P2 g17X	0.000	-10.015	-10.015
P2 g17XY	9.883	0.000	9.883
P2 g17Y	9.925	0.000	9.925
P2 g21X	0.000	-8.705	-8.705
P2 g21XY	8.691	0.000	8.691
P2 g21Y	8.734	0.000	8.734
P2 g25X	0.000	-7.490	-7.490
P2 g25XY	7.543	0.000	7.543
P2 g25Y	7.586	0.000	7.586
P2 g29X	0.000	-6.386	-6.386
P2 g29XY	6.509	0.000	6.509
P2 g29Y	6.540	0.000	6.540
P3 g33X	0.000	-5.383	-5.383
P3 g33XY	5.507	0.000	5.507
P3 g33Y	5.535	0.000	5.535
P3 g37X	0.000	-4.480	-4.480
P3 g37XY	4.603	0.000	4.603
P3 g37Y	4.637	0.000	4.637
P3 g41X	0.000	-3.660	-3.660
P3 g41XY	3.782	0.000	3.782
P3 g41Y	3.812	0.000	3.812
P3 g45X	0.000	-2.935	-2.935
P3 g45XY	3.053	0.000	3.053
P3 g45Y	3.078	0.000	3.078
P4 g49X	0.000	-2.295	-2.295
P4 g49XY	2.404	0.000	2.404
P4 g49Y	2.424	0.000	2.424
P4 g53X	0.000	-1.736	-1.736
P4 g53XY	1.835	0.000	1.835
P4 g53Y	1.853	0.000	1.853
P4 g57X	0.000	-1.259	-1.259
P4 g57XY	1.346	0.000	1.346
P4 g57Y	1.360	0.000	1.360
P4 g61X	0.000	-0.864	-0.864
P4 g61XY	0.939	0.000	0.939
P4 g61Y	0.949	0.000	0.949
P5 g65X	0.000	-0.546	-0.546
P5 g65XY	0.608	0.000	0.608
P5 g65Y	0.614	0.000	0.614
P5 g69X	0.000	-0.301	-0.301

P5 g69XY	0.348	0.000	0.348
P5 g69Y	0.352	0.000	0.352
P5 g73X	0.000	-0.128	-0.128
P5 g73XY	0.161	0.000	0.161
P5 g73Y	0.162	0.000	0.162
P5 g77X	0.000	-0.028	-0.028
P5 g77XY	0.045	0.000	0.045
P5 g77Y	0.045	0.000	0.045
B1 g81Y	0.221	0.000	0.221
B1 g83Y	0.000	-0.009	-0.009
B1 g85Y	0.000	-0.061	-0.061
B1 g87Y	0.000	-0.004	-0.004
B1 g89Y	0.021	0.000	0.021
B1 g91Y	0.000	-0.002	-0.002
B1 g93Y	0.000	-0.001	-0.001
B1 g95Y	0.000	-0.001	-0.001
B2 g97Y	0.001	0.000	0.001
B2 g99Y	0.000	0.000	0.000
B2 g101Y	0.000	-0.001	-0.001
B2 g103Y	0.000	-0.000	-0.000
B2 g105Y	0.002	0.000	0.002
B2 g107Y	0.004	0.000	0.004
B2 g109Y	0.000	-0.016	-0.016
B2 g111Y	0.001	0.000	0.001
B3 g113Y	0.014	0.000	0.014
B3 g115Y	0.000	-0.002	-0.002
B3 g117Y	0.000	-0.005	-0.005
B3 g119Y	0.002	0.000	0.002
B3 g121Y	0.000	-0.001	-0.001
B3 g123Y	0.002	0.000	0.002
B3 g125Y	0.000	-0.005	-0.005
B3 g127Y	0.002	0.000	0.002
B4 g129Y	0.000	-0.001	-0.001
B4 g131Y	0.001	0.000	0.001
B4 g133Y	0.000	-0.003	-0.003
B4 g135Y	0.002	0.000	0.002
B4 g137Y	0.000	-0.002	-0.002
B4 g139Y	0.001	0.000	0.001
B4 g141Y	0.000	-0.002	-0.002
B4 g143Y	0.001	0.000	0.001
B5 g145Y	0.000	-0.002	-0.002
B5 g147Y	0.001	0.000	0.001
B5 g149Y	0.000	-0.001	-0.001
B5 g151Y	0.001	0.000	0.001
B5 g153Y	0.000	-0.001	-0.001
B5 g155Y	0.000	0.000	0.000
B5 g157Y	0.000	-0.001	-0.001
B5 g159Y	0.000	0.000	0.000
B5 g161X	0.026	0.000	0.026
B5 g163X	0.000	-0.090	-0.090
B5 g165X	0.079	0.000	0.079
B5 g167X	0.000	-0.179	-0.179
B5 g169X	0.132	0.000	0.132
B5 g171X	0.000	-0.268	-0.268
B5 g173X	0.185	0.000	0.185
B5 g175X	0.000	-0.358	-0.358
B5 g177X	0.238	0.000	0.238
B4 g179X	0.000	-0.447	-0.447
B4 g181X	0.294	0.000	0.294
B4 g183X	0.000	-0.548	-0.548
B4 g185X	0.354	0.000	0.354
B4 g187X	0.000	-0.649	-0.649
B4 g189X	0.413	0.000	0.413
B4 g191X	0.000	-0.749	-0.749
B4 g193X	0.471	0.000	0.471
B3 g195X	0.000	-0.847	-0.847
B3 g197X	0.534	0.000	0.534

B3 g199X	0.000	-0.961	-0.961
B3 g201X	0.599	0.000	0.599
B3 g203X	0.000	-1.070	-1.070
B3 g205X	0.663	0.000	0.663
B3 g207X	0.000	-1.178	-1.178
B3 g209X	0.726	0.000	0.726
B2 g211X	0.000	-1.281	-1.281
B2 g213X	0.792	0.000	0.792
B2 g215X	0.000	-1.401	-1.401
B2 g217X	0.862	0.000	0.862
B2 g219X	0.000	-1.524	-1.524
B2 g221X	0.918	0.000	0.918
B2 g223X	0.000	-1.580	-1.580
B2 g225X	0.985	0.000	0.985
B1 g227X	0.000	-1.784	-1.784
B1 g229X	1.075	0.000	1.075
B1 g231X	0.000	-1.836	-1.836
B1 g233X	1.121	0.000	1.121
B1 g235X	0.000	-2.023	-2.023
B1 g237X	1.198	0.000	1.198
B1 g239X	0.000	-1.933	-1.933

- A continuación se dan los resultados para cada nudo. El desplazamiento, la rotación y la posición final de cada nudo. Dichos valores se deben comparar con los valores permisibles según TIA/EIA-222-F según de la frecuencia del sistema radiante. Ya que si la traslación y rotación de los nudos es mayor que la permisible la recepción de las antenas quedará fuera de servicio.

Equilibrium Joint Positions and Rotations:

Joint Label	X-Displ (ft)	Y-Displ (ft)	Z-Displ (ft)	X-Rot (deg)	Y-Rot (deg)	Z-Rot (deg)	X-Pos (ft)	Y-Pos (ft)	Z-Pos (ft)
BP	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	1.804	1.804	0
PP	0.268	0.008403	-0.02806	0.0006	0.2305	-0.0000	2.072	1.813	98.4
BX	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	1.804	-1.804	0
BXY	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	-1.804	-1.804	0
BY	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	-1.804	1.804	0
PX	0.2681	0.009154	-0.0281	0.0006	0.2305	-0.0001	2.073	-1.795	98.4
PXY	0.2689	-0.01042	-0.01362	0.0007	0.2307	0.0001	-1.536	-1.815	98.41
PY	0.2688	-0.01117	-0.01359	0.0007	0.2306	0.0001	-1.536	1.793	98.41
1S	0.0168	0.002606	-0.006586	-0.0076	0.0895	-0.0000	1.821	1.807	19.68
2S	0.05701	0.004568	-0.01219	-0.0054	0.1355	-0.0000	1.861	1.809	39.36
3S	0.1152	0.007073	-0.0183	-0.0051	0.1935	-0.0000	1.92	1.812	59.04
4S	0.189	0.008383	-0.02363	-0.0013	0.2273	-0.0000	1.993	1.813	78.72
1AS	0.001571	0.0002333	-0.001755	-0.0071	0.0315	0.0000	1.806	1.805	4.92
1BS	0.005032	0.001119	-0.003435	-0.0108	0.0497	0.0000	1.809	1.806	9.839
1CS	0.01011	0.001912	-0.005045	-0.0084	0.0680	-0.0000	1.815	1.806	14.76
2AS	0.02538	0.003214	-0.008069	-0.0066	0.1076	-0.0000	1.83	1.808	24.6
2BS	0.03507	0.003738	-0.009494	-0.0057	0.1181	-0.0000	1.84	1.808	29.52
2CS	0.04566	0.004182	-0.01087	-0.0045	0.1283	-0.0000	1.85	1.809	34.44
3AS	0.06957	0.005398	-0.01386	-0.0102	0.1558	-0.0000	1.874	1.81	44.28
3BS	0.08363	0.006089	-0.01543	-0.0069	0.1714	-0.0000	1.888	1.811	49.2
3CS	0.09894	0.006641	-0.0169	-0.0056	0.1848	-0.0000	1.903	1.811	54.12
4AS	0.1325	0.007592	-0.01976	-0.0057	0.2075	-0.0000	1.937	1.812	63.96
4BS	0.1507	0.007969	-0.02113	-0.0035	0.2164	-0.0000	1.955	1.812	68.88
4CS	0.1696	0.008226	-0.02241	-0.0024	0.2231	-0.0000	1.974	1.813	73.8
5AS	0.2086	0.008461	-0.02479	-0.0005	0.2298	-0.0000	2.013	1.813	83.64
5BS	0.2284	0.008479	-0.02591	0.0001	0.2309	-0.0000	2.033	1.813	88.56

5CS	0.2482	0.008453	-0.02699	0.0005	0.2308	-0.0000	2.053	1.813	93.48
1X	0.01682	0.003357	-0.006592	-0.0075	0.0895	-0.0000	1.821	-1.801	19.68
1XY	0.01735	-0.003257	-0.001679	0.0076	0.0885	0.0000	-1.787	-1.808	19.68
1Y	0.01733	-0.004008	-0.001676	0.0075	0.0885	0.0000	-1.787	1.8	19.68
2X	0.05704	0.005318	-0.0122	-0.0054	0.1356	-0.0000	1.861	-1.799	39.36
2XY	0.05764	-0.005321	-0.004339	0.0059	0.1358	0.0000	-1.747	-1.81	39.37
2Y	0.05762	-0.006071	-0.004329	0.0059	0.1357	0.0000	-1.747	1.798	39.37
3X	0.1153	0.007824	-0.01832	-0.0051	0.1935	-0.0000	1.92	-1.797	59.04
3XY	0.116	-0.008144	-0.006524	0.0062	0.1938	0.0000	-1.689	-1.813	59.05
3Y	0.1159	-0.008894	-0.0065	0.0062	0.1937	0.0000	-1.689	1.796	59.05
4X	0.189	0.009134	-0.02367	-0.0013	0.2274	-0.0001	1.993	-1.795	78.72
4XY	0.1898	-0.009928	-0.009579	0.0028	0.2275	0.0000	-1.615	-1.814	78.73
4Y	0.1897	-0.01068	-0.009545	0.0028	0.2275	0.0001	-1.615	1.794	78.73
1AX	0.001574	0.0009794	-0.001758	-0.0141	0.0316	-0.0000	1.806	-1.803	4.92
1AXY	0.002216	-0.0008973	-0.0003199	0.0133	0.0375	0.0000	-1.802	-1.805	4.921
1AY	0.002212	-0.001649	-0.0003232	0.0203	0.0375	0.0000	-1.802	1.803	4.921
1BX	0.00504	0.001871	-0.003439	-0.0090	0.0498	-0.0000	1.81	-1.803	9.839
1BXY	0.005691	-0.001786	-0.0007041	0.0090	0.0486	0.0000	-1.799	-1.806	9.842
1BY	0.005683	-0.002537	-0.0007047	0.0072	0.0485	0.0000	-1.799	1.802	9.842
1CX	0.01012	0.002663	-0.005049	-0.0088	0.0681	-0.0000	1.815	-1.802	14.76
1CXY	0.01078	-0.00256	-0.00116	0.0087	0.0675	0.0000	-1.794	-1.807	14.76
1CY	0.01077	-0.003311	-0.001159	0.0092	0.0675	0.0000	-1.794	1.801	14.76
2AX	0.0254	0.003964	-0.008077	-0.0066	0.1077	-0.0000	1.83	-1.8	24.6
2AXY	0.02595	-0.003872	-0.002263	0.0067	0.1082	0.0000	-1.779	-1.808	24.6
2AY	0.02593	-0.004623	-0.002258	0.0068	0.1081	0.0000	-1.779	1.8	24.6
2BX	0.03509	0.004489	-0.009504	-0.0057	0.1181	-0.0000	1.84	-1.8	29.52
2BXY	0.03565	-0.004418	-0.002903	0.0060	0.1182	0.0000	-1.769	-1.809	29.52
2BY	0.03563	-0.005169	-0.002896	0.0060	0.1182	0.0000	-1.769	1.799	29.52
2CX	0.04568	0.004933	-0.01088	-0.0045	0.1283	-0.0000	1.85	-1.8	34.44
2CXY	0.04626	-0.004895	-0.003596	0.0049	0.1285	0.0000	-1.758	-1.809	34.45
2CY	0.04624	-0.005645	-0.003588	0.0049	0.1285	0.0000	-1.758	1.799	34.45
3AX	0.06959	0.006148	-0.01388	-0.0102	0.1558	-0.0000	1.874	-1.798	44.28
3AXY	0.07022	-0.006214	-0.00473	0.0110	0.1560	0.0000	-1.734	-1.811	44.29
3AY	0.07019	-0.006965	-0.004717	0.0110	0.1560	0.0000	-1.734	1.797	44.29
3BX	0.08366	0.00684	-0.01545	-0.0069	0.1714	-0.0000	1.888	-1.798	49.2
3BXY	0.08431	-0.006981	-0.005231	0.0078	0.1717	0.0000	-1.72	-1.811	49.21
3BY	0.08428	-0.007731	-0.005214	0.0078	0.1717	0.0000	-1.72	1.797	49.21
3CX	0.09897	0.007391	-0.01693	-0.0056	0.1848	-0.0000	1.903	-1.797	54.12
3CXY	0.09964	-0.007618	-0.005833	0.0066	0.1850	0.0000	-1.705	-1.812	54.13
3CY	0.09961	-0.008368	-0.005812	0.0066	0.1850	0.0000	-1.705	1.796	54.13
4AX	0.1325	0.008342	-0.01979	-0.0057	0.2075	-0.0000	1.937	-1.796	63.96
4AXY	0.1333	-0.008774	-0.007144	0.0070	0.2077	0.0000	-1.671	-1.813	63.97
4AY	0.1332	-0.009524	-0.007117	0.0070	0.2077	0.0000	-1.671	1.795	63.97
4BX	0.1508	0.00872	-0.02116	-0.0035	0.2165	-0.0000	1.955	-1.796	68.88
4BXY	0.1515	-0.009269	-0.00787	0.0049	0.2167	0.0000	-1.653	-1.814	68.89
4BY	0.1515	-0.01002	-0.00784	0.0049	0.2166	0.0000	-1.653	1.794	68.89
4CX	0.1696	0.008976	-0.02245	-0.0024	0.2231	-0.0000	1.974	-1.795	73.8
4CXY	0.1704	-0.009648	-0.008687	0.0038	0.2233	0.0000	-1.634	-1.814	73.81
4CY	0.1704	-0.0104	-0.008654	0.0038	0.2233	0.0001	-1.634	1.794	73.81
5AX	0.2086	0.009212	-0.02483	-0.0005	0.2299	-0.0001	2.013	-1.795	83.64
5AXY	0.2094	-0.01013	-0.01053	0.0019	0.2300	0.0000	-1.595	-1.815	83.65
5AY	0.2094	-0.01088	-0.0105	0.0019	0.2300	0.0001	-1.595	1.794	83.65
5BX	0.2284	0.009229	-0.02595	0.0001	0.2309	-0.0001	2.033	-1.795	88.56
5BXY	0.2292	-0.01026	-0.01153	0.0013	0.2311	0.0001	-1.575	-1.815	88.57
5BY	0.2292	-0.01101	-0.0115	0.0013	0.2310	0.0001	-1.575	1.793	88.57
5CX	0.2483	0.009204	-0.02703	0.0005	0.2308	-0.0001	2.053	-1.795	93.48
5CXY	0.2491	-0.01035	-0.01257	0.0008	0.2310	0.0001	-1.555	-1.815	93.49
5CY	0.249	-0.0111	-0.01253	0.0008	0.2309	0.0001	-1.555	1.793	93.49

- Aquí se indican las reacciones en los nudos de los anclajes a las bases. Dichos valores son útiles para el diseño de la cimentación de la estructura.

Joint support reactions:

Joint Label	X-Force (kips)	Y-Force (kips)	Z-Force (kips)	X-Moment (ft-k)	Y-Moment (ft-k)	Z-Moment (ft-k)
BP	-1.197	0.008	17.831	0.009	-0.186	-0.000
BX	-1.196	-0.009	17.929	0.159	-0.186	-0.000
BXY	-0.109	-0.092	-15.637	-0.143	-0.316	0.000
BY	-0.109	0.092	-15.391	-0.294	-0.315	0.000

- A continuación se despliegan los componentes de las cargas debidas a la velocidad del viento en cada nudo y los componentes de las reacciones en los mismos. Este procedimiento se realiza con la sumatoria de fuerzas en cada una de las uniones.

Joint Displacements, Loads and Member Forces on Joints:

Joint Label	X External Load (kips)	Y External Load (kips)	Z External Load (kips)	X Member Force (kips)	Y Member Force (kips)	Z Member Force (kips)
BP	0.0345	0.0000	-0.1044	1.1621	-0.0081	-17.7264
PP	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
BX	0.0345	0.0000	-0.1044	1.1617	0.0085	-17.8250
BXY	0.0345	0.0000	-0.1044	0.0747	0.0915	15.7418
BY	0.0345	0.0000	-0.1044	0.0744	-0.0920	15.4951
PX	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
PXY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
PY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
1S	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2S	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3S	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4S	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
1AS	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
1BS	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
1CS	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
2AS	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2BS	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2CS	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
3AS	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3BS	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3CS	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
4AS	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4BS	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4CS	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
5AS	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
5BS	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
5CS	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
1X	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
1XY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
1Y	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2X	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
2XY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
2Y	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3X	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332

3XY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
3Y	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4X	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
4XY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
4Y	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
1AX	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
1AXY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
1AY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
1BX	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
1BXY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
1BY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
1CX	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	0.0000	0.1044
1CXY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
1CY	0.0345	0.0000	-0.1044	-0.0345	-0.0000	0.1044
2AX	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2AXY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2AY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2BX	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2BXY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2BY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2CX	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	0.0000	0.0818
2CXY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
2CY	0.0334	0.0000	-0.0818	-0.0334	-0.0000	0.0818
3AX	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3AXY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3AY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3BX	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3BXY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3BY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3CX	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	0.0000	0.0416
3CXY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
3CY	0.0326	0.0000	-0.0416	-0.0326	-0.0000	0.0416
4AX	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4AXY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4AY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4BX	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4BXY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4BY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
4CX	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4CXY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	0.0000	0.0332
4CY	0.0298	0.0000	-0.0332	-0.0298	-0.0000	0.0332
5AX	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5AXY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5AY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
5BX	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5BXY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5BY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278
5CX	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5CXY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	0.0000	0.0278
5CY	0.0264	0.0000	-0.0278	-0.0264	-0.0000	0.0278

- En este inciso son indicados los esfuerzos de torsión en cada elemento, los cuales son mínimos, y los momentos inducidos en cada elemento. Estos momentos son denominados momentos de segundo orden y son absorbidos por los pernos y las placas de unión.

Moments for angles modeled as beams:

Angle Label	Torsion (ft-lbs)	Origin X Moment (ft-lbs)	Origin Z Moment (ft-lbs)	End X Moment (ft-lbs)	End Z Moment (ft-lbs)
g1P	0.01	8.88	185.58	-47.49	-65.53
g5P	-0.00	47.49	65.53	17.83	-79.84
g9P	0.00	-17.83	79.84	1.34	-66.03
g13P	0.00	-1.34	66.03	4.65	-104.99
g17P	0.00	-4.65	104.99	3.92	-39.81
g21P	0.00	-3.92	39.81	2.92	-43.64
g25P	0.00	-2.92	43.64	6.86	-37.34
g29P	0.00	-6.86	37.34	-14.21	-20.76
g33P	-0.00	14.21	20.76	5.64	-15.20
g37P	0.00	-5.64	15.20	0.25	-12.69
g41P	0.00	-0.25	12.69	2.06	-11.03
g45P	0.00	-2.06	11.03	-1.13	-4.53
g49P	0.00	1.13	4.54	0.83	-2.43
g53P	0.00	-0.83	2.43	0.24	-2.01
g57P	0.00	-0.24	2.01	0.32	-1.29
g61P	0.00	-0.32	1.29	0.22	-0.84
g65P	0.00	-0.22	0.84	0.18	-0.40
g69P	0.00	-0.18	0.40	0.12	-0.12
g73P	0.00	-0.12	0.12	0.08	0.16
g77P	0.00	-0.08	-0.16	0.00	0.00
g1X	-0.01	159.30	186.19	47.14	-65.41
g1XY	0.01	-142.57	315.94	-36.45	16.86
g1Y	0.03	-294.42	315.33	-132.52	16.73
g5X	0.00	-47.14	65.41	-6.60	-79.85
g5XY	-0.00	36.45	-16.86	2.28	-104.95
g5Y	-0.01	132.52	-16.73	27.74	-104.94
g9X	-0.00	6.60	79.85	7.65	-65.97
g9XY	0.00	-2.28	104.95	-4.96	-46.22
g9Y	0.00	-27.74	104.94	-11.69	-46.29
g13X	0.00	-7.65	65.97	3.00	-104.96
g13XY	-0.00	4.96	46.22	-3.67	-121.29
g13Y	-0.00	11.69	46.29	-1.91	-121.32
g17X	-0.00	-3.00	104.96	4.39	-39.79
g17XY	-0.00	3.67	121.29	-3.32	-35.22
g17Y	-0.00	1.91	121.32	-3.73	-35.24
g21X	0.00	-4.39	39.79	2.69	-43.61
g21XY	-0.00	3.32	35.22	-2.34	-45.09
g21Y	-0.00	3.73	35.24	-2.35	-45.11
g25X	0.00	-2.69	43.61	7.03	-37.38
g25XY	-0.00	2.34	45.09	-6.58	-36.92
g25Y	-0.00	2.35	45.11	-6.44	-36.88
g29X	0.00	-7.03	37.38	-14.21	-20.69
g29XY	-0.00	6.58	36.92	14.69	-20.80
g29Y	-0.00	6.44	36.88	14.69	-20.86
g33X	-0.00	14.21	20.69	5.61	-15.23
g33XY	0.00	-14.69	20.80	-5.57	-15.21
g33Y	0.00	-14.69	20.86	-5.61	-15.18
g37X	0.00	-5.61	15.23	0.27	-12.68
g37XY	-0.00	5.57	15.21	-0.14	-12.69
g37Y	-0.00	5.61	15.18	-0.11	-12.70
g41X	0.00	-0.27	12.68	2.05	-11.05
g41XY	-0.00	0.14	12.69	-1.99	-11.02
g41Y	-0.00	0.11	12.70	-2.00	-11.01
g45X	0.00	-2.05	11.05	-1.13	-4.52
g45XY	-0.00	1.99	11.02	1.25	-4.53
g45Y	-0.00	2.00	11.01	1.25	-4.54
g49X	0.00	1.13	4.52	0.83	-2.44
g49XY	-0.00	-1.25	4.53	-0.84	-2.43
g49Y	-0.00	-1.25	4.54	-0.84	-2.43
g53X	0.00	-0.83	2.44	0.24	-2.01
g53XY	-0.00	0.84	2.43	-0.22	-2.01

g53Y	-0.00	0.84	2.43	-0.22	-2.01
g57X	0.00	-0.24	2.01	0.32	-1.29
g57XY	-0.00	0.22	2.01	-0.31	-1.29
g57Y	-0.00	0.22	2.01	-0.31	-1.28
g61X	0.00	-0.32	1.29	0.22	-0.84
g61XY	-0.00	0.31	1.29	-0.22	-0.83
g61Y	-0.00	0.31	1.28	-0.22	-0.83
g65X	0.00	-0.22	0.84	0.18	-0.41
g65XY	-0.00	0.22	0.83	-0.19	-0.40
g65Y	-0.00	0.22	0.83	-0.19	-0.40
g69X	0.00	-0.18	0.41	0.12	-0.12
g69XY	-0.00	0.19	0.40	-0.13	-0.12
g69Y	-0.00	0.19	0.40	-0.13	-0.12
g73X	0.00	-0.12	0.12	0.08	0.16
g73XY	-0.00	0.13	0.12	-0.09	0.16
g73Y	-0.00	0.13	0.12	-0.09	0.16
g77X	0.00	-0.08	-0.16	0.00	-0.00
g77XY	-0.00	0.09	-0.16	-0.00	-0.00
g77Y	-0.00	0.09	-0.16	-0.00	0.00

- Por último se comprueba que los elementos utilizados soportan satisfactoriamente los esfuerzos a los que están sometidos. Dichos valores se representan con el porcentaje del esfuerzo máximo capaz de soportar por el mismo. A compresión:

Group summary (compression portion):

Group Label	Group Desc.	Angle Type	Angle Size	Steel Strength (ksi)	Max Usage %	Max Use In Control %	Comp. Member	Comp. Force (kips)	L/R Capacity	Conn. Shear Capacity (kips)	Conn. Bearing Capacity (kips)
P1	PATA 1	SAE	4X4X0.5	36.0	20.53	20.53	g1X	-16.225	59.424	0.000	0.000
P2	PATA 2	SAE	4X4X0.5	36.0	12.67	12.67	g17X	-10.015	59.424	0.000	0.000
P3	PATA 3	SAE	3X3X0.25	36.0	21.60	21.60	g33X	-5.383	18.733	0.000	0.000
P4	PATA 4	SAE	2X2X0.25	36.0	28.04	28.04	g49X	-2.295	6.153	0.000	0.000
P5	PATA 5	SAE	2X2X0.25	36.0	6.67	6.67	g65X	-0.546	6.153	0.000	0.000
B1	BREIZA 1	SAE	2X2X0.375	36.0	8.67	8.67	g235X	-2.023	17.547	0.000	0.000
B2	BREIZA 2	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	23.45	23.45	g223X	-1.580	5.066	0.000	0.000
B3	BREIZA 3	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	17.48	17.48	g207X	-1.178	5.066	0.000	0.000
B4	BREIZA 4	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	11.12	11.12	g191P	-0.749	5.066	0.000	0.000
B5	BREIZA 5	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	5.31	5.31	g175P	-0.358	5.066	0.000	0.000

- Resumen de elemento a tensión:

Group Summary (Tension Portion):

Group Label	Group Desc.	Angle Type	Angle Size	Steel Strength (ksi)	Max Usage %	Max Tension Use In Control %	Tension Member	Tension Force (kips)	Net Section Capacity	Conn. Shear Capacity (kips)	Conn. Bearing Capacity (kips)
P1	PATA 1	SAE	4X4X0.5	36.0	20.53	14.45	g1XY	15.563	81.000	0.000	0.000
P2	PATA 2	SAE	4X4X0.5	36.0	12.67	9.21	g17Y	9.925	81.000	0.000	0.000
P3	PATA 3	SAE	3X3X0.25	36.0	21.60	13.38	g33Y	5.535	31.104	0.000	0.000
P4	PATA 4	SAE	2X2X0.25	36.0	28.04	8.98	g49Y	2.424	20.304	0.000	0.000
P5	PATA 5	SAE	2X2X0.25	36.0	6.67	2.27	g65Y	0.614	20.304	0.000	0.000
B1	BREIZA 1	SAE	2X2X0.375	36.0	8.67	3.07	g237X	1.198	29.376	0.000	0.000
B2	BREIZA 2	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	23.45	6.47	g225X	0.985	11.448	0.000	0.000
B3	BREIZA 3	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	17.48	4.77	g209X	0.726	11.448	0.000	0.000
B4	BREIZA 4	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	11.12	3.10	g193X	0.471	11.448	0.000	0.000
B5	BREIZA 5	SAE	1.5X1.5X0.1875	36.0	5.31	1.56	g177P	0.238	11.448	0.000	0.000

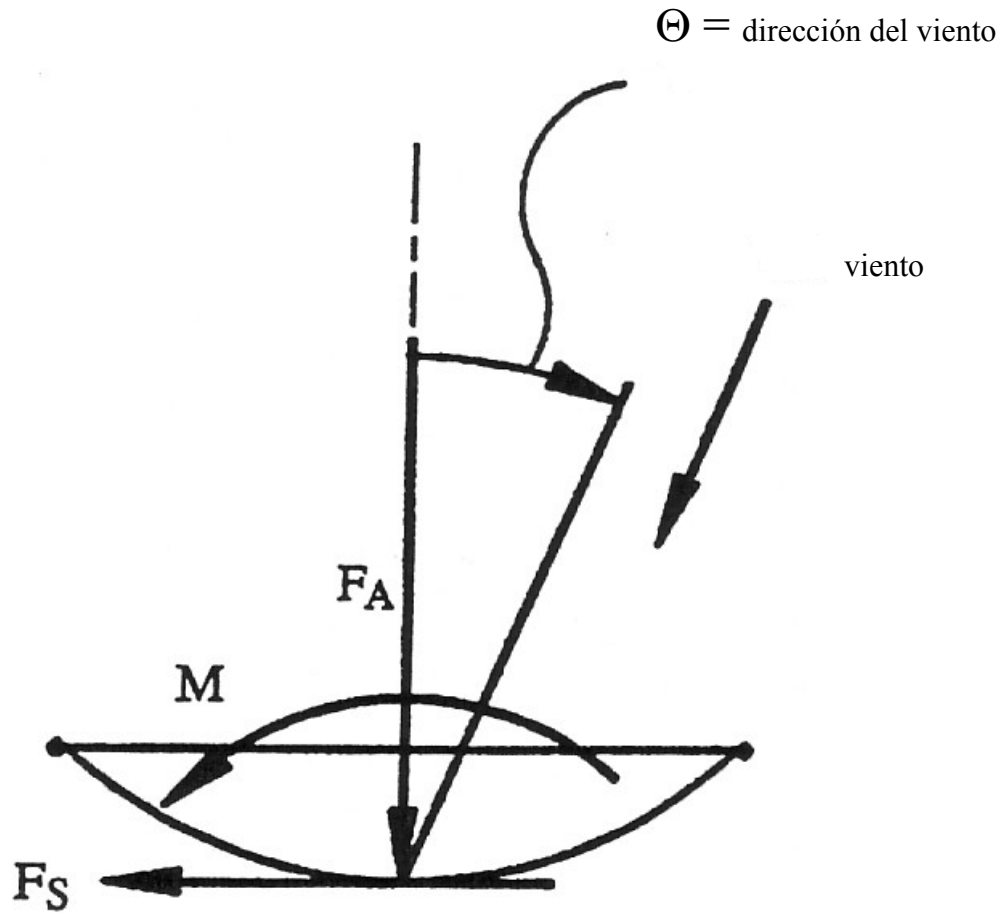
- Se puede comprobar que ninguno de los elementos sobrepasa el 100% de su capacidad a tensión y compresión, con lo cual se puede concluir que los perfiles seleccionados cumplen satisfactoriamente para todos los casos a tensión y compresión.

Nota: el juego de planos se encuentra en el apéndice.

2.3 Diseño de carga de viento en antena típica de microondas

Calcular los valores de los esfuerzos F_a , F_s y M debido a la velocidad del viento en la antena parabólica típica circular. El diámetro externo de la misma es 3.28 pies, y la dirección del viento es perpendicular a la superficie de la misma. (Ver figura 22). Esta antena se encuentra ubicada a una altura de 324.8 pies del nivel de referencia, tal como lo indica el ejemplo de la sección 2.1 cuya altura de torre es de 120.00 pies. La velocidad de viento es de 77 mph.

Figura 22. Planta de antena parabólica típica y sus esfuerzos



Solución:

Los valores de F , F_s y M se obtienen a partir de las expresiones,

$$F_a = C_a A K_z G_h V^2 \text{ (lb)}, \quad F_s = C_s A K_z G_h V^2 \text{ (lb)}, \quad M = C_m A D K_z G_h V^2 \text{ (pies -lb)}$$

El viento golpea perpendicularmente la antena, por lo tanto $\Theta = 0$. Los valores de C_a , C_s y C_m han sido obtenidos de las especificaciones TIA/EIA-222-F, para antenas típicas parabólicas, estos son $C_a = 0.00397$, $C_s = 0.00000$, $C_m = 0.00000$.

A = área frontal de la antena

D = diámetro de la antena

$$A = \pi D^2/4$$

$$D = 3.28 \text{ pies.}$$

$$A = \pi (3.28 \text{ pies})^2/4$$

$$A = 8.45 \text{ pies}^2$$

K_z = coeficiente de exposición, y depende de la altura a la que se encuentra el centro de la antena con respecto al nivel de referencia.

$$K_z = [z/33]^{2/7} = [324.8/33]^{2/7} = 1.922 \text{ pies}$$

V = velocidad local del viento

$$V = 77 \text{ mph.}$$

G_h = es el coeficiente de ráfaga de viento

$$G_h = 0.65 + 0.60/(h/33)^{1/7}$$

$$G_h = 0.65 + 0.60/(120.00/33)^{1/7}$$

$$G_h = 1.15$$

Calculando F_a , F_s y F_m se tiene,

$$F_a = C_a A K_z G_h V^2$$

$$F_a = (0.00397) (8.45 \text{ pies}^2) (1.922 \text{ pies}) (1.15) (77 \text{ mph})^2$$

$$F_a = 439 \text{ lb.}$$

$$F_s = C_s A K_z G_h V^2$$

$$F_s = (0.000) (8.45 \text{ ft}^2) (1.922 \text{ ft}) (1.15) (77 \text{ mph})^2$$

$$F_s = 0.000 \text{ lb}$$

$$M = C_m A D K_z G_h V^2$$

$$M = (0.000) (8.45 \text{ pies}^2) (3.28 \text{ ft}) (1.922 \text{ pies}) (1.15) (77 \text{ mph})^2$$

$$M = 0.000 \text{ lb-pies}$$

El valor F_a debe ser sumado a la fuerza que produce el viento en el nudo de la estructura. Los valores F_s y M dan cero, esto debido a que la dirección del viento es perpendicular a la superficie de la antena.

2.- EJEMPLO DE APLICACIONES DE ANÁLISIS

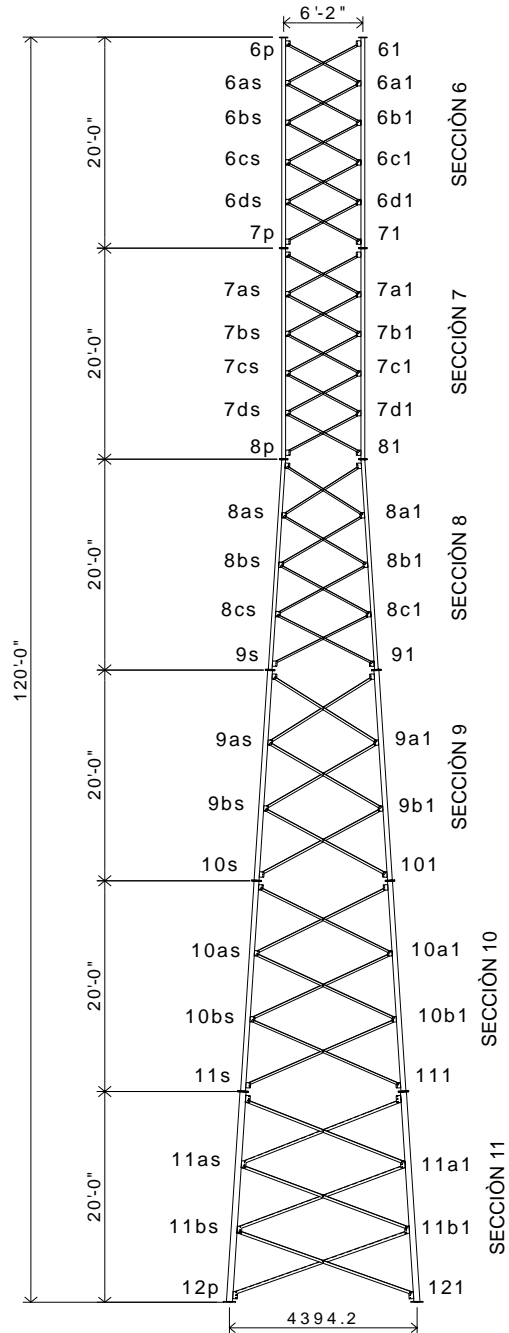
2.1 Torres de sección triangular con diagonal doble

Realizar el diseño estructural de una torre para telefonía celular con altura de 120.00 ft, equivalente a 36.00 m, (ver figura 18); La estructura debe ser autosoportada y de sección triangular. La velocidad local del viento es de 77 mph, y se encuentra ubicada a 226.38 ft de altura del nivel de referencia, en un valle y se utilizará el diseño de velocidad de viento uniforme. Existen diversos programas de computadoras para realizar análisis estructurales.

Solución:

Para realizar el diseño de dicha torre se utiliza el programa “*Power Line System*”, el cual es un programa específico para efectuar análisis y diseños de torres de telecomunicaciones, para ello se contó con la colaboración de Industria Técnica Metálica (ITM), quién cuenta con la respectiva licencia para su uso.

Figura 18. Torre de sección triangular con diagonal doble



- Primero se identifican y nombran los nudos o juntas principales, (los nudos principales se ubican en el inicio y fin de cada sección), de la estructura de la forma 6P, 7P, 8P, etc., tridimensionales, es decir que se generan 61, 62, 71, 72, etc. a las mismas alturas correspondientes, tal como se indica en la figura 18, así mismo se asignan coordenadas en un sistema tridimensional. Por ser una estructura con uniones articuladas, se indica que su rotación y desplazamiento de nudos es libre, “free”, a excepción de los nudos 12P, 121 y 122, los cuales están empotrados en el cimiento y por lo mismo deberán ser calculadas sus reacciones “fixed”.

Joints geometry:

Joint Label	Symmetry Code	X Coord. (ft)	Y Coord. (ft)	Z Coord. (ft)	X Disp. Rest.	Y Disp. Rest.	Z Disp. Rest.	X Rot. Rest.	Y Rot. Rest.	Z Rot. Rest.
6P	Tri-Symmetry	3.379	0	120	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7P	Tri-Symmetry	3.379	0	100	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8P	Tri-Symmetry	3.379	0	80	Free	Free	Free	Free	Free	Free
12P	Tri-Symmetry	8.383	0	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
61	Tri-Gen 1	-1.69	-2.927	120	Free	Free	Free	Free	Free	Free
62	Tri-Gen 2	-1.69	2.927	120	Free	Free	Free	Free	Free	Free
71	Tri-Gen 1	-1.69	-2.927	100	Free	Free	Free	Free	Free	Free
72	Tri-Gen 2	-1.69	2.927	100	Free	Free	Free	Free	Free	Free
81	Tri-Gen 1	-1.69	-2.927	80	Free	Free	Free	Free	Free	Free
82	Tri-Gen 2	-1.69	2.927	80	Free	Free	Free	Free	Free	Free
121	Tri-Gen 1	-4.191	-7.259	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed
122	Tri-Gen 2	-4.191	7.259	0	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed

- Seguidamente se identifican y nombran los nudos o juntas secundarias, de la forma 6as, 6bs, 6cs, 6ds, 7as, 7bs, etc. (Ver figura 17). Dichos nudos se ubican de acuerdo a la fracción de la sección que corresponde con respecto a su nudo principal anterior de forma descendente. Por ejemplo, el nudo 6as, su fracción es 0.2 de 19.68 pies, es decir a 3.936 pies del nudo 6P. Igualmente deberá indicarse que estos nudos son libres de rotación y traslación, “free”. Los nudos 9s, 10s, 11s, 91, 92, 101, 102, 111 y 112, son nudos principales, igualmente asigna su elevación con respecto al nivel del suelo.

Secondary joints:

Joint Label	Symmetry Code	Origin Joint	End Joint	Fraction	Elevation (ft)	X Disp. Rest.	Y Disp. Rest.	Z Disp. Rest.	X Rot. Rest.	Y Rot. Rest.	Z Rot. Rest.
9S	Tri-Symmetry	8P	12P	0	60	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10S	Tri-Symmetry	8P	12P	0	40	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11S	Tri-Symmetry	8P	12P	0	20	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6aS	Tri-Symmetry	6P	7P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6bS	Tri-Symmetry	6P	7P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free

6cS	Tri-Symmetry	6P	7P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6dS	Tri-Symmetry	6P	7P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7aS	Tri-Symmetry	7P	8P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7bS	Tri-Symmetry	7P	8P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7cS	Tri-Symmetry	7P	8P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7dS	Tri-Symmetry	7P	8P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8aS	Tri-Symmetry	8P	9S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8bS	Tri-Symmetry	8P	9S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8cS	Tri-Symmetry	8P	9S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9aS	Tri-Symmetry	9S	10S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9bS	Tri-Symmetry	9S	10S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10aS	Tri-Symmetry	10S	11S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10bS	Tri-Symmetry	10S	11S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11aS	Tri-Symmetry	11S	12P	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11bS	Tri-Symmetry	11S	12P	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
91	Tri-Gen 1	8P	12P	0	60	Free	Free	Free	Free	Free	Free
92	Tri-Gen 2	8P	12P	0	60	Free	Free	Free	Free	Free	Free
101	Tri-Gen 1	8P	12P	0	40	Free	Free	Free	Free	Free	Free
102	Tri-Gen 2	8P	12P	0	40	Free	Free	Free	Free	Free	Free
111	Tri-Gen 1	8P	12P	0	20	Free	Free	Free	Free	Free	Free
112	Tri-Gen 2	8P	12P	0	20	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6a1	Tri-Gen 1	6P	7P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6a2	Tri-Gen 2	6P	7P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6b1	Tri-Gen 1	6P	7P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6b2	Tri-Gen 2	6P	7P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6c1	Tri-Gen 1	6P	7P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6c2	Tri-Gen 2	6P	7P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6d1	Tri-Gen 1	6P	7P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
6d2	Tri-Gen 2	6P	7P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7a1	Tri-Gen 1	7P	8P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7a2	Tri-Gen 2	7P	8P	0.2	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7b1	Tri-Gen 1	7P	8P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7b2	Tri-Gen 2	7P	8P	0.4	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7c1	Tri-Gen 1	7P	8P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7c2	Tri-Gen 2	7P	8P	0.6	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7d1	Tri-Gen 1	7P	8P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
7d2	Tri-Gen 2	7P	8P	0.8	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8a1	Tri-Gen 1	8P	9S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8a2	Tri-Gen 2	8P	9S	0.25	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8b1	Tri-Gen 1	8P	9S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8b2	Tri-Gen 2	8P	9S	0.5	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8c1	Tri-Gen 1	8P	9S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
8c2	Tri-Gen 2	8P	9S	0.75	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9a1	Tri-Gen 1	9S	10S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9a2	Tri-Gen 2	9S	10S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9b1	Tri-Gen 1	9S	10S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
9b2	Tri-Gen 2	9S	10S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10a1	Tri-Gen 1	10S	11S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10a2	Tri-Gen 2	10S	11S	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10b1	Tri-Gen 1	10S	11S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
10b2	Tri-Gen 2	10S	11S	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11a1	Tri-Gen 1	11S	12P	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11a2	Tri-Gen 2	11S	12P	0.3333	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11b1	Tri-Gen 1	11S	12P	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free
11b2	Tri-Gen 2	11S	12P	0.6667	0	Free	Free	Free	Free	Free	Free

- Después se nombran e indican las propiedades estructurales de los materiales de acero que se utilizarán, esto son de grado 50 para elementos principales o montantes y grado 36 para elementos secundarios o diagonales. Estas propiedades cumplen con las normas AISC.

Steel material properties:

Steel Material Label	Modulus of Elasticity (ksi)	Yield Stress Fy (ksi)	Ultimate Stress Fu (ksi)
A 36	2.9e+004	36	48
A572-50	2.9e+004	50	65

- De igual manera se nombran e indica los tipos y cantidad de pernos que se utilizan, sus propiedades físicas y estructurales, siempre respetando las normas AISC.

Bolt properties:

Bolt Label	Bolt Diameter (in)	Hole Diameter (in)	Ultimate Shear Capacity (kips)	Numbers bolts
1/2 EIA	0.5	0.5625	3	138

- En el quinto paso se determinan los tipos de elementos que conformarán la estructura de la torre, siendo estos “SAE” para elementos angulares y “PIPE” para elementos tubulares. En este inciso se indican las propiedades físicas de los perfiles seleccionados. Estas propiedades son asignadas automáticamente por el programa, y corresponden a los valores indicados por el AISC. Queda pendiente comprobar que estos elementos soporten satisfactoriamente los esfuerzos obtenidos del análisis estructural.

Angle properties:

Angle Type	Angle Size	Long Leg (in)	Short Leg (in)	Thick. (in)	Unit Weight (lbs/ft)	Gross Area (in ²)	w/t Ratio	Radius of Gyration Rx (in)	Radius of Gyration Ry (in)	Radius of Gyration Rz (in)	Wind Width (in)
SAE	3X3X0.25	3	3	0.25	4.9	1.44	9.8	0.93	0.93	0.592	3
SAE	2.5X2.5X0.25	2.5	2.5	0.25	4.1	1.19	7.8	0.769	0.769	0.491	2.5
SAE	2X2X0.1875	2	2	0.1875	2.4	0.71	8	0.617	0.617	0.394	2
pipe	Nom 2 1/2"	2.9	2.9	0.203	5.8	1.7	1	0.947	0.947	0.947	2.9
pipe	Nom 3"	3.5	3.5	0.216	7.6	2.23	1	1.16	1.16	1.16	3.5
pipe	Nom 4"	4.5	4.5	0.237	11	3.17	1	1.51	1.51	1.51	4.5
pipe	Nom 5"	5.6	5.6	0.258	15	4.3	1	1.88	1.88	1.88	5.6

- Seguidamente se asigna un grupo al que pertenecen los elementos y se indican y clasifican como elementos principales “beam” o elementos secundarios “truss”.

Angle groups:

Group Label	Group Description	Angle Type	Angle Size	Material Type	Element Type	Group Type
p6a	60	pipe	Nom 2 1/2"	A572-50	Beam	Leg
p6b	60	pipe	Nom 2 1/2"	A572-50	Beam	Leg
p6c	60	pipe	Nom 2 1/2"	A572-50	Beam	Leg
p6d	60	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p6e	60	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p7a	70	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p7b	70	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p7c	70	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p7d	70	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p7e	70	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p8a	80	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p8b	80	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p8c	80	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p8d	80	pipe	Nom 3"	A572-50	Beam	Leg
p9a	90	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p9b	90	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p9c	90	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p10a	10	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p10b	10	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p10c	10	pipe	Nom 4"	A572-50	Beam	Leg
p11a	11	pipe	Nom 5"	A572-50	Beam	Leg
p11b	11	pipe	Nom 5"	A572-50	Beam	Leg
p11c	11	pipe	Nom 5"	A572-50	Beam	Leg
b6a	61	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b6b	62	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b6c	63	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b6d	64	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b6e	65	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b7a	71	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b7b	72	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b7c	73	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b7d	74	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b7e	75	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b8a	81	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b8b	82	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b8c	83	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b8d	84	SAE	2X2X0.1875	A 36	Truss	Other
b9a	91	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b9b	92	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b9c	93	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b10a	101	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b10b	102	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b10c	103	SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	Truss	Other
b11a	111	SAE	3X3X0.25	A 36	Truss	Other
b11b	112	SAE	3X3X0.25	A 36	Truss	Other
b11c	113	SAE	3X3X0.25	A 36	Truss	Other

- El programa cuantifica automáticamente los distintos perfiles a utilizar.

Aggregate angle information:

Angle Type	Angle Size	Material Type	Total Length (ft)	Total Surface Area (ft^2)	Total Weight (lbs)
pipe	Nom 2 1/2"	A572-50	36.00	34.50	208.44
pipe	Nom 3"	A572-50	144.12	168.14	1092.41
pipe	Nom 4"	A572-50	120.23	180.35	1297.33
pipe	Nom 5"	A572-50	60.12	111.48	878.91
SAE	2X2X0.1875	A 36	630.78	420.52	1539.11
SAE	2.5X2.5X0.25	A 36	439.00	365.83	1799.90
SAE	3X3X0.25	A 36	270.05	270.05	1323.22

- En este paso se nombran los elementos y se indica a que grupo pertenecen, indicando los nudos donde inician y finalizan los mismos. El programa asigna códigos de ecuaciones, 1 para elementos principales y 2 para diagonales. Así mismo indica la curva a que pertenece cada elemento para obtener el valor de K (tablas IV, V y VI). Indica la cantidad de pernos utilizados en elementos secundarios y su distancia hacia los extremos.

Angle member connectivity:

Member Label	Group Label	Section Label	Symmetry Code	Origin Joint	End Joint	Ecc. Code	Rest. Code	Ratio RLX	Ratio RLY	Ratio RLZ	Bolt Type	# Bolts	# Holes	End Dist. (in)
pp6aP	p6a		Tri-Symmetry	6P	6aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp6bP	p6b		Tri-Symmetry	6aS	6bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp6cP	p6c		Tri-Symmetry	6bS	6cS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp6dP	p6d		Tri-Symmetry	6cS	6dS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp6eP	p6e		Tri-Symmetry	6dS	7P	1	4	1	1	1		0	0	0
pp7aP	p7a		Tri-Symmetry	7P	7aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp7bP	p7b		Tri-Symmetry	7aS	7bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp7cP	p7c		Tri-Symmetry	7bS	7cS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp7dP	p7d		Tri-Symmetry	7cS	7dS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp7eP	p7e		Tri-Symmetry	7dS	8P	1	4	1	1	1		0	0	0
pp8aP	p8a		Tri-Symmetry	8P	8aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp8bP	p8b		Tri-Symmetry	8aS	8bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp8cP	p8c		Tri-Symmetry	8bS	8cS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp8dP	p8d		Tri-Symmetry	8cS	9S	1	4	1	1	1		0	0	0
pp9aP	p9a		Tri-Symmetry	9S	9aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp9bP	p9b		Tri-Symmetry	9aS	9bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp9cP	p9c		Tri-Symmetry	9bS	10S	1	4	1	1	1		0	0	0
pp10aP	p10a		Tri-Symmetry	10S	10aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp10bP	p10b		Tri-Symmetry	10aS	10bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp10cP	p10c		Tri-Symmetry	10bS	11S	1	4	1	1	1		0	0	0
pp11aP	p11a		Tri-Symmetry	11S	11aS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp11bP	p11b		Tri-Symmetry	11aS	11bS	1	4	1	1	1		0	0	0
pp11cP	p11c		Tri-Symmetry	11bS	12P	1	4	1	1	1		0	0	0
b16aP	b6a		Tri-Symmetry	6P	6a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b26aP	b6a		Tri-Symmetry	62	6aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b16bP	b6b		Tri-Symmetry	6aS	6b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b26bP	b6b		Tri-Symmetry	6a2	6bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b16cP	b6c		Tri-Symmetry	6bS	6c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b26cP	b6c		Tri-Symmetry	6b2	6cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b16dP	b6d		Tri-Symmetry	6cS	6d2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b26dP	b6d		Tri-Symmetry	6c2	6dS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b16eP	b6e		Tri-Symmetry	6dS	72	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b26eP	b6e		Tri-Symmetry	6d2	7P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5
b17aP	b7a		Tri-Symmetry	7P	7a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2 EIA	1	1	1.5

b27aP	b7a	Tri-Symmetry	72	7aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17bP	b7b	Tri-Symmetry	7aS	7b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27bP	b7b	Tri-Symmetry	7a2	7bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17cP	b7c	Tri-Symmetry	7bS	7c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27cP	b7c	Tri-Symmetry	7b2	7cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17dP	b7d	Tri-Symmetry	7cS	7d2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27dP	b7d	Tri-Symmetry	7c2	7dS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17eP	b7e	Tri-Symmetry	7dS	82	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27eP	b7e	Tri-Symmetry	7d2	8P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18aP	b8a	Tri-Symmetry	8P	8a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28aP	b8a	Tri-Symmetry	82	8aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18bP	b8b	Tri-Symmetry	8aS	8b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28bP	b8b	Tri-Symmetry	8a2	8bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18cP	b8c	Tri-Symmetry	8bS	8c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28cP	b8c	Tri-Symmetry	8b2	8cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18dP	b8d	Tri-Symmetry	8cS	92	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28dP	b8d	Tri-Symmetry	8c2	9S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19aP	b9a	Tri-Symmetry	9S	9a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29aP	b9a	Tri-Symmetry	92	9aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19bP	b9b	Tri-Symmetry	9aS	9b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29bP	b9b	Tri-Symmetry	9a2	9bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19cP	b9c	Tri-Symmetry	9bS	102	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29cP	b9c	Tri-Symmetry	9b2	10S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110aP	b10a	Tri-Symmetry	10S	10a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210aP	b10a	Tri-Symmetry	102	10aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110bP	b10b	Tri-Symmetry	10aS	10b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210bP	b10b	Tri-Symmetry	10a2	10bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110cP	b10c	Tri-Symmetry	10bS	112	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210cP	b10c	Tri-Symmetry	10b2	11S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111aP	b11a	Tri-Symmetry	11S	11a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211aP	b11a	Tri-Symmetry	112	11aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111bP	b11b	Tri-Symmetry	11aS	11b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211bP	b11b	Tri-Symmetry	11a2	11bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111cP	b11c	Tri-Symmetry	11bS	122	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211cP	b11c	Tri-Symmetry	11b2	12P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
pp6a1	p6a	Tri-Gen 1	61	6a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6a2	p6a	Tri-Gen 2	62	6a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6b1	p6b	Tri-Gen 1	6a1	6b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6b2	p6b	Tri-Gen 2	6a2	6b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6c1	p6c	Tri-Gen 1	6b1	6c1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6c2	p6c	Tri-Gen 2	6b2	6c2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6d1	p6d	Tri-Gen 1	6c1	6d1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6d2	p6d	Tri-Gen 2	6c2	6d2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6e1	p6e	Tri-Gen 1	6d1	71	1	4	1	1	1			0	0	0
pp6e2	p6e	Tri-Gen 2	6d2	72	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7a1	p7a	Tri-Gen 1	71	7a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7a2	p7a	Tri-Gen 2	72	7a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7b1	p7b	Tri-Gen 1	7a1	7b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7b2	p7b	Tri-Gen 2	7a2	7b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7c1	p7c	Tri-Gen 1	7b1	7c1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7c2	p7c	Tri-Gen 2	7b2	7c2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7d1	p7d	Tri-Gen 1	7c1	7d1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7d2	p7d	Tri-Gen 2	7c2	7d2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7e1	p7e	Tri-Gen 1	7d1	81	1	4	1	1	1			0	0	0
pp7e2	p7e	Tri-Gen 2	7d2	82	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8a1	p8a	Tri-Gen 1	81	8a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8a2	p8a	Tri-Gen 2	82	8a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8b1	p8b	Tri-Gen 1	8a1	8b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8b2	p8b	Tri-Gen 2	8a2	8b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8c1	p8c	Tri-Gen 1	8b1	8c1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8c2	p8c	Tri-Gen 2	8b2	8c2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8d1	p8d	Tri-Gen 1	8c1	91	1	4	1	1	1			0	0	0
pp8d2	p8d	Tri-Gen 2	8c2	92	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9a1	p9a	Tri-Gen 1	91	9a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9a2	p9a	Tri-Gen 2	92	9a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9b1	p9b	Tri-Gen 1	9a1	9b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9b2	p9b	Tri-Gen 2	9a2	9b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9c1	p9c	Tri-Gen 1	9b1	101	1	4	1	1	1			0	0	0
pp9c2	p9c	Tri-Gen 2	9b2	102	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10a1	p10a	Tri-Gen 1	101	10a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10a2	p10a	Tri-Gen 2	102	10a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10b1	p10b	Tri-Gen 1	10a1	10b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10b2	p10b	Tri-Gen 2	10a2	10b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10c1	p10c	Tri-Gen 1	10b1	111	1	4	1	1	1			0	0	0
pp10c2	p10c	Tri-Gen 2	10b2	112	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11a1	p11a	Tri-Gen 1	111	11a1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11a2	p11a	Tri-Gen 2	112	11a2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11b1	p11b	Tri-Gen 1	11a1	11b1	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11b2	p11b	Tri-Gen 2	11a2	11b2	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11c1	p11c	Tri-Gen 1	11b1	121	1	4	1	1	1			0	0	0
pp11c2	p11c	Tri-Gen 2	11b2	122	1	4	1	1	1			0	0	0
b16a1	b6a	Tri-Gen 1	61	6aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5

b16a2	b6a	Tri-Gen 2	62	6a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26a1	b6a	Tri-Gen 1	6P	6a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26a2	b6a	Tri-Gen 2	61	6a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16b1	b6b	Tri-Gen 1	6a1	6bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16b2	b6b	Tri-Gen 2	6a2	6b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26b1	b6b	Tri-Gen 1	6aS	6b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26b2	b6b	Tri-Gen 2	6a1	6b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16c1	b6c	Tri-Gen 1	6b1	6cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16c2	b6c	Tri-Gen 2	6b2	6c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26c1	b6c	Tri-Gen 1	6bS	6c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26c2	b6c	Tri-Gen 2	6b1	6c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16d1	b6d	Tri-Gen 1	6c1	6dS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16d2	b6d	Tri-Gen 2	6c2	6d1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26d1	b6d	Tri-Gen 1	6cS	6d1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26d2	b6d	Tri-Gen 2	6c1	6d2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16e1	b6e	Tri-Gen 1	6d1	7P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b16e2	b6e	Tri-Gen 2	6d2	71	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26e1	b6e	Tri-Gen 1	6dS	71	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b26e2	b6e	Tri-Gen 2	6d1	72	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17a1	b7a	Tri-Gen 1	71	7aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17a2	b7a	Tri-Gen 2	72	7a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27a1	b7a	Tri-Gen 1	7P	7a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27a2	b7a	Tri-Gen 2	71	7a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17b1	b7b	Tri-Gen 1	7a1	7bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17b2	b7b	Tri-Gen 2	7a2	7b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27b1	b7b	Tri-Gen 1	7aS	7b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27b2	b7b	Tri-Gen 2	7a1	7b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17c1	b7c	Tri-Gen 1	7b1	7cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17c2	b7c	Tri-Gen 2	7b2	7c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27c1	b7c	Tri-Gen 1	7bS	7c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27c2	b7c	Tri-Gen 2	7b1	7c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17d1	b7d	Tri-Gen 1	7c1	7dS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17d2	b7d	Tri-Gen 2	7c2	7d1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27d1	b7d	Tri-Gen 1	7cS	7d1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27d2	b7d	Tri-Gen 2	7c1	7d2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17e1	b7e	Tri-Gen 1	7d1	8P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b17e2	b7e	Tri-Gen 2	7d2	81	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27e1	b7e	Tri-Gen 1	7dS	81	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b27e2	b7e	Tri-Gen 2	7d1	82	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18a1	b8a	Tri-Gen 1	81	8aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18a2	b8a	Tri-Gen 2	82	8a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28a1	b8a	Tri-Gen 1	8P	8a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28a2	b8a	Tri-Gen 2	81	8a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18b1	b8b	Tri-Gen 1	8a1	8bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18b2	b8b	Tri-Gen 2	8a2	8b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28b1	b8b	Tri-Gen 1	8aS	8b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28b2	b8b	Tri-Gen 2	8a1	8b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18c1	b8c	Tri-Gen 1	8b1	8cS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18c2	b8c	Tri-Gen 2	8b2	8c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28c1	b8c	Tri-Gen 1	8bS	8c1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28c2	b8c	Tri-Gen 2	8b1	8c2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18d1	b8d	Tri-Gen 1	8c1	9S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b18d2	b8d	Tri-Gen 2	8c2	91	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28d1	b8d	Tri-Gen 1	8cS	91	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b28d2	b8d	Tri-Gen 2	8c1	92	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19a1	b9a	Tri-Gen 1	91	9aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19a2	b9a	Tri-Gen 2	92	9a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29a1	b9a	Tri-Gen 1	9S	9a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29a2	b9a	Tri-Gen 2	91	9a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19b1	b9b	Tri-Gen 1	9a1	9bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19b2	b9b	Tri-Gen 2	9a2	9b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29b1	b9b	Tri-Gen 1	9aS	9b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29b2	b9b	Tri-Gen 2	9a1	9b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19c1	b9c	Tri-Gen 1	9b1	10S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b19c2	b9c	Tri-Gen 2	9b2	101	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29c1	b9c	Tri-Gen 1	9bS	101	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b29c2	b9c	Tri-Gen 2	9b1	102	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110a1	b10a	Tri-Gen 1	101	10aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110a2	b10a	Tri-Gen 2	102	10a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210a1	b10a	Tri-Gen 1	10S	10a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210a2	b10a	Tri-Gen 2	101	10a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110b1	b10b	Tri-Gen 1	10a1	10bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110b2	b10b	Tri-Gen 2	10a2	10b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210b1	b10b	Tri-Gen 1	10aS	10b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210b2	b10b	Tri-Gen 2	10a1	10b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110c1	b10c	Tri-Gen 1	10b1	11S	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b110c2	b10c	Tri-Gen 2	10b2	111	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210c1	b10c	Tri-Gen 1	10bS	111	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b210c2	b10c	Tri-Gen 2	10b1	112	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111a1	b11a	Tri-Gen 1	111	11aS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111a2	b11a	Tri-Gen 2	112	11a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211a1	b11a	Tri-Gen 1	11S	11a1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5

b211a2	b11a	Tri-Gen 2	111	11a2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111b1	b11b	Tri-Gen 1	11a1	11bS	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111b2	b11b	Tri-Gen 2	11a2	11b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211b1	b11b	Tri-Gen 1	11aS	11b1	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211b2	b11b	Tri-Gen 2	11a1	11b2	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111c1	b11c	Tri-Gen 1	11b1	12P	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b111c2	b11c	Tri-Gen 2	11b2	121	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211c1	b11c	Tri-Gen 1	11bS	121	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5
b211c2	b11c	Tri-Gen 2	11b1	122	2	5	0.75	0.5	0.5	1/2	EIA	1	1	1.5

- A partir de los elementos seleccionados en el quinto paso y las longitudes entre nudos del inciso anterior, se calcula la relación de esbeltez de los distintos elementos, así como las capacidades a tensión y compresión de los mismos, y los esfuerzos de corte máximos en las juntas. (Ver inciso 3.1 y 3.2 para el cálculo de los mismos).

Member capacities:

Member Label	Group Label	Design Comp. Capacity (kips)	Comp. Control Criterion	Design Tension Capacity (kips)	Tension Control Criterion	L/r	Length (ft)	L/r Connection Capacity (kips)	Connection Shear Capacity (kips)	Connection Bearing Capacity (kips)	Net Section Tension Capacity (kips)
pp6aP	p6a	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6bP	p6b	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6cP	p6c	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6dP	p6d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp6eP	p6e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7aP	p7a	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7bP	p7b	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7cP	p7c	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7dP	p7d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7eP	p7e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp8aP	p8a	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8bP	p8b	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8cP	p8c	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8dP	p8d	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp9aP	p9a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9bP	p9b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9cP	p9c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10aP	p10a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10bP	p10b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10cP	p10c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp11aP	p11a	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11bP	p11b	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11cP	p11c	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
b16aP	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26aP	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16bP	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26bP	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16cP	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26cP	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16dP	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26dP	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16eP	b6e	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26eP	b6e	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b17aP	b7a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b27aP	b7a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b17bP	b7b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b27bP	b7b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b17cP	b7c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b27cP	b7c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b17dP	b7d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b27dP	b7d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b17eP	b7e	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b27eP	b7e	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b18aP	b8a	1.800	Shear	1.800	Shear	120	7.91	7.264	1.800	5.400	10.882
b28aP	b8a	1.800	Shear	1.800	Shear	120	7.91	7.264	1.800	5.400	10.882
b18bP	b8b	1.800	Shear	1.800	Shear	127	8.33	6.751	1.800	5.400	10.882
b28bP	b8b	1.800	Shear	1.800	Shear	127	8.33	6.751	1.800	5.400	10.882
b18cP	b8c	1.800	Shear	1.800	Shear	134	8.77	6.235	1.800	5.400	10.882
b28cP	b8c	1.800	Shear	1.800	Shear	134	8.77	6.235	1.800	5.400	10.882

b18dP	b8d	1.800	Shear	1.800	Shear	140	9.22	5.764	1.800	5.400	10.882
b28dP	b8d	1.800	Shear	1.800	Shear	140	9.22	5.764	1.800	5.400	10.882
b19aP	b9a	1.800	Shear	1.800	Shear	131	10.71	10.790	1.800	7.200	18.889
b29aP	b9a	1.800	Shear	1.800	Shear	131	10.71	10.790	1.800	7.200	18.889
b19bP	b9b	1.800	Shear	1.800	Shear	138	11.28	9.944	1.800	7.200	18.889
b29bP	b9b	1.800	Shear	1.800	Shear	138	11.28	9.944	1.800	7.200	18.889
b19cP	b9c	1.800	Shear	1.800	Shear	145	11.88	9.174	1.800	7.200	18.889
b29cP	b9c	1.800	Shear	1.800	Shear	145	11.88	9.174	1.800	7.200	18.889
b110aP	b10a	1.800	Shear	1.800	Shear	152	12.48	8.475	1.800	7.200	18.889
b210aP	b10a	1.800	Shear	1.800	Shear	152	12.48	8.475	1.800	7.200	18.889
b110bP	b10b	1.800	Shear	1.800	Shear	160	13.10	7.842	1.800	7.200	18.889
b210bP	b10b	1.800	Shear	1.800	Shear	160	13.10	7.842	1.800	7.200	18.889
b110cP	b10c	1.800	Shear	1.800	Shear	168	13.72	7.268	1.800	7.200	18.889
b210cP	b10c	1.800	Shear	1.800	Shear	168	13.72	7.268	1.800	7.200	18.889
b111aP	b11a	1.800	Shear	1.800	Shear	146	14.36	11.053	1.800	7.200	23.389
b211aP	b11a	1.800	Shear	1.800	Shear	146	14.36	11.053	1.800	7.200	23.389
b111bP	b11b	1.800	Shear	1.800	Shear	152	15.00	10.306	1.800	7.200	23.389
b211bP	b11b	1.800	Shear	1.800	Shear	152	15.00	10.306	1.800	7.200	23.389
b111cP	b11c	1.800	Shear	1.800	Shear	159	15.65	9.625	1.800	7.200	23.389
b211cP	b11c	1.800	Shear	1.800	Shear	159	15.65	9.625	1.800	7.200	23.389
pp6a1	p6a	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6a2	p6a	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6b1	p6b	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6b2	p6b	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6c1	p6c	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6c2	p6c	41.214	L/r	51.000	Net Sect	51	4.00	41.214	0.000	0.000	51.000
pp6d1	p6d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp6d2	p6d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp6e1	p6e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp6e2	p6e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7a1	p7a	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7a2	p7a	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7b1	p7b	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7b2	p7b	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7c1	p7c	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7c2	p7c	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7d1	p7d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7d2	p7d	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7e1	p7e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp7e2	p7e	57.171	L/r	66.900	Net Sect	41	4.00	57.171	0.000	0.000	66.900
pp8a1	p8a	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8a2	p8a	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8b1	p8b	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8b2	p8b	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8c1	p8c	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8c2	p8c	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8d1	p8d	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp8d2	p8d	53.662	L/r	66.900	Net Sect	52	5.01	53.662	0.000	0.000	66.900
pp9a1	p9a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9a2	p9a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9b1	p9b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9b2	p9b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9c1	p9c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp9c2	p9c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10a1	p10a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10a2	p10a	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10b1	p10b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10b2	p10b	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10c1	p10c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp10c2	p10c	75.645	L/r	95.100	Net Sect	53	6.68	75.645	0.000	0.000	95.100
pp11a1	p11a	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11a2	p11a	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11b1	p11b	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11b2	p11b	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11c1	p11c	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
pp11c2	p11c	109.464	L/r	129.000	Net Sect	43	6.68	109.464	0.000	0.000	129.000
b16a1	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16a2	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26a1	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26a2	b6a	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16b1	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16b2	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26b1	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26b2	b6b	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16c1	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16c2	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26c1	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26c2	b6c	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16d1	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b16d2	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26d1	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882
b26d2	b6d	1.800	Shear	1.800	Shear	108	7.09	8.194	1.800	5.400	10.882

- A continuación se enlistan todos los nudos, principales y secundarios con sus elevaciones correspondientes.

EIA joint information:

Joint Label	Joint Elevation (ft)	Section Label
6P	120.000	6
7P	100.000	6
8P	80.000	7
12P	0.000	11
61	120.000	6
62	120.000	6
71	100.000	6
72	100.000	6
81	80.000	7
82	80.000	7
121	0.000	11
122	0.000	11
9S	60.000	8
10S	40.000	9
11S	20.000	10
6aS	116.000	6
6bS	112.000	6
6cS	108.000	6
6dS	104.000	6
7aS	96.000	7
7bS	92.000	7
7cS	88.000	7
7dS	84.000	7
8aS	75.000	8
8bS	70.000	8
8cS	65.000	8
9aS	53.333	9
9bS	46.667	9
10aS	33.333	10
10bS	26.667	10
11aS	13.333	11
11bS	6.667	11
91	60.000	8
92	60.000	8
101	40.000	9
102	40.000	9
111	20.000	10
112	20.000	10
6a1	116.000	6
6a2	116.000	6
6b1	112.000	6
6b2	112.000	6
6c1	108.000	6
6c2	108.000	6
6d1	104.000	6
6d2	104.000	6
7a1	96.000	7
7a2	96.000	7
7b1	92.000	7
7b2	92.000	7
7c1	88.000	7
7c2	88.000	7
7d1	84.000	7

7d2	84.000	7
8a1	75.000	8
8a2	75.000	8
8b1	70.000	8
8b2	70.000	8
8c1	65.000	8
8c2	65.000	8
9a1	53.333	9
9a2	53.333	9
9b1	46.667	9
9b2	46.667	9
10a1	33.333	10
10a2	33.333	10
10b1	26.667	10
10b2	26.667	10
11a1	13.333	11
11a2	13.333	11
11b1	6.667	11
11b2	6.667	11

- Seguidamente se determinan las dimensiones, cantidad de elementos y nudos de cada sección de la torre.

EIA sections information:

Section Label	Top Elevation (ft)	Bottom Elevation (ft)	Joint Count	Member Count	Top Width (ft)	Bottom Width (ft)	Gross Area (ft^2)	Face Adjust Factor	Ar Adjust Factor	Dead Load Factor
6	120.000	100.000	18	45	5.85	5.85	117.06	1.0000	1.0000	1.000
7	100.000	80.000	15	45	5.85	5.85	117.06	1.0000	1.0000	1.000
8	80.000	60.000	12	36	5.85	8.02	138.73	1.0000	1.0000	1.000
9	60.000	40.000	9	27	8.02	10.19	182.06	1.0000	1.0000	1.000
10	40.000	20.000	9	27	10.19	12.35	225.39	1.0000	1.0000	1.000
11	20.000	0.000	9	27	12.35	14.52	268.72	1.0000	1.0000	1.000

- Se indican los factores de carga para la velocidad de viento, la carga muerta y los esfuerzos permisibles. La carga muerta debido al hielo es cero.

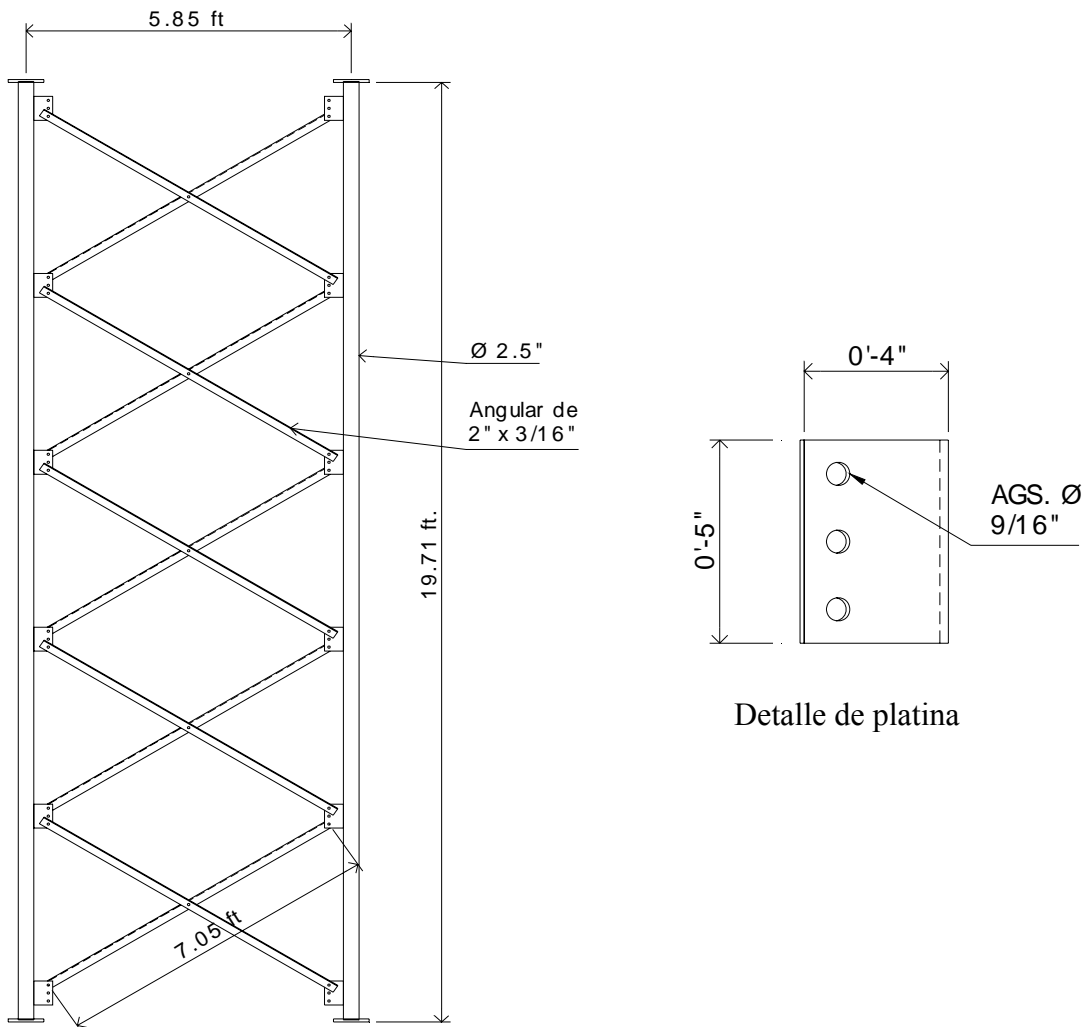
EIA rev. F load cases:

Load Case Point	Dead Load Factor	Wind Load Factor	Ice Load Factor	Strength Allowable Factor	Increase Factor	Basic Wind Speed (mph)(Deg)	Ice Thick. (in)	Ice Density (lbs/ft^3)	Ice Temperature (deg F)
carga	1.0000	1.0000	0.0000	1.0000	1.3300	77.000	0	0.0000	0.000

- Con todos los datos anteriores, dimensiones de secciones y elementos, se calculan las cargas debido al viento en cada sección de la torre y el peso propio de la estructura. Si se necesita saber la fuerza de viento en la sección 6 de la torre en mención:

A partir de la formula $F = Qz Gh [Cf Ae]$, se tiene de la figura 19 :

Figura 19. Sección 6 de torre triangular



$$Q_z = 0.00256 K_z V^2$$

$$K_z = [z/33]^{2/7} = [324.8/33]^{2/7} = 1.922 \text{ pie}$$

$$Q_z = (0.00256) (1.922 \text{ ft}) (77 \text{ mph})^2$$

$$Q_z = 29.1726 \text{ lb/ pie}^2$$

$$G_h = 0.65 + 0.60/(h/33)^{1/7}$$

$$G_h = 0.65 + 0.60/(120.00/33)^{1/7}$$

$$G_h = 1.15$$

$$Q_z * G_h = 33.53 \text{ lb/ pie}^2$$

$$C_f = 3.4 e^2 - 4.7 e + 3.4, e = (A_f + A_r)/A_g$$

$$A_f = 0.17 \text{ ft} * 7.05 \text{ ft} + A_g \text{ placas} \quad A_r = 0.240 \text{ ft} * 3.94 * 5 * 2$$

$$A_f = 11.98 + (0.34 * 0.67) * 12 \text{ pie}^2 \quad A_r = 9.4 \text{ pie}^2$$

$$A_f = 15 \text{ ft}^2$$

$$e = (15 + 9.4) / 115.2 = 0.21 \quad C_f = 3.4(0.21)^2 - 4.7(0.21) + 3.4$$

$$C_f = 2.56.$$

$$A_e = D_f A_f + D_r A_r R_r, \quad R_r = 0.51 e^2 + 0.57 = 0.59 \leq 1 \text{ ok}$$

$$D_f \text{ y } D_r = 1 \text{ de tabla II}$$

$$A_e = 1 * 15 + 1 * 0.59 * 9.4 = 20.6 \text{ pie}^2$$

$$F = 33.53 \text{ lb/ pie}^2 (2.56 * 20.6 \text{ pie}^2) = 1,768 \text{ lb}$$

$$2 Q_z G_h A_g = 3,862 \text{ lb}$$

$$F < 2 Q_z G_h A_g, \text{ ok}$$

De igual manera se calcula la fuerza de viento F para cada sección de la torre. Esta fuerza deberá distribuirse en el número total de nudos y descomponerse como se indica más adelante.

EIA section load case information for "carga":

Section Label	Top Elev. (ft)	Bottom Elev. (ft)	Average Gnd. Elev. (ft)	qzGh (psf)	Face AF (ft^2)	Face AR (ft^2)	Face AG (ft^2)	Face e	Face DF	Face DR	Face RR	Face CF	Face AE (ft^2)	Face WF (lbs)	Total Wind (lbs)	Total Weight (lbs)
6	120.00	100.00	324.80	33.53	15.0	09.4	115.2	0.21	1.00	1.00	0.59	2.56	20.6	1768	1768	851
7	100.00	80.00	305.12	32.94	16.3	09.4	132.3	0.19	1.00	1.00	0.59	2.61	21.8	1107	1881	1136
8	80.00	60.00	285.43	32.32	16.3	11.5	166.4	0.17	1.00	1.00	0.58	2.71	23.0	1115	2018	1119
9	60.00	40.00	265.75	31.66	15.4	18.3	200.5	0.17	1.00	1.00	0.58	2.71	26.1	1348	2235	1644
10	40.00	20.00	246.06	30.97	20.3	21.8	234.6	0.18	1.00	1.00	0.59	2.67	33.1	1474	2730	1778
11	20.00	0.00	226.38	30.25	22.2	28.3	268.7	0.19	1.00	1.00	0.59	2.64	38.9	1828	3100	2365

- A continuación el programa despliega todos los elementos con la identificación del grupo al que pertenecen. Proporciona los esfuerzos a tensión con signo positivo y los esfuerzos a compresión con signo negativo. Estos valores deberán compararse con las capacidades de los elementos descritos en el noveno paso.

Angle forces for all load cases:

Positive for tension - negative for compression

Group Label	Angle Label	Max. Tens. For All LC (kips)	Max. Comp. For All LC (kips)	LC 1 (kips)
p6a	pp6aP	0.000	-0.114	-0.114
p6b	pp6bP	0.000	-0.355	-0.355
p6c	pp6cP	0.000	-0.911	-0.911
p6d	pp6dP	0.000	-2.081	-2.081
p6e	pp6eP	0.000	-3.202	-3.202
p7a	pp7aP	0.000	-4.825	-4.825
p7b	pp7bP	0.000	-6.526	-6.526
p7c	pp7cP	0.000	-8.696	-8.696
p7d	pp7dP	0.000	-10.940	-10.940
p7e	pp7eP	0.000	-13.282	-13.282
p8a	pp8aP	0.000	-15.444	-15.444
p8b	pp8bP	0.000	-17.517	-17.517
p8c	pp8cP	0.000	-19.265	-19.265
p8d	pp8dP	0.000	-21.103	-21.103
p9a	pp9aP	0.000	-23.129	-23.129
p9b	pp9bP	0.000	-25.417	-25.417
p9c	pp9cP	0.000	-27.980	-27.980
p10a	pp10aP	0.000	-30.197	-30.197
p10b	pp10bP	0.000	-32.973	-32.973
p10c	pp10cP	0.000	-35.096	-35.096
p11a	pp11aP	0.000	-38.198	-38.198
p11b	pp11bP	0.000	-40.080	-40.080
p11c	pp11cP	0.000	-43.967	-43.967
b6a	b16aP	0.059	0.000	0.059
b6a	b26aP	0.000	-0.063	-0.063
b6b	b16bP	0.053	0.000	0.053
b6b	b26bP	0.000	-0.219	-0.219
b6c	b16cP	0.338	0.000	0.338
b6c	b26cP	0.000	-0.805	-0.805

b6d	b16dP	0.763	0.000	0.763
b6d	b26dP	0.000	-0.542	-0.542
b6e	b16eP	0.669	0.000	0.669
b6e	b26eP	0.000	-0.736	-0.736
b7a	b17aP	1.093	0.000	1.093
b7a	b27aP	0.000	-0.846	-0.846
b7b	b17bP	0.950	0.000	0.950
b7b	b27bP	0.000	-1.124	-1.124
b7c	b17cP	1.138	0.000	1.138
b7c	b27cP	0.000	-1.111	-1.111
b7d	b17dP	1.193	0.000	1.193
b7d	b27dP	0.000	-1.192	-1.192
b7e	b17eP	1.209	0.000	1.209
b7e	b27eP	0.000	-1.343	-1.343
b8a	b18aP	0.800	0.000	0.800
b8a	b28aP	0.000	-1.029	-1.029
b8b	b18bP	0.949	0.000	0.949
b8b	b28bP	0.000	-0.882	-0.882
b8c	b18cP	0.868	0.000	0.868
b8c	b28cP	0.000	-0.961	-0.961
b8d	b18dP	0.906	0.000	0.906
b8d	b28dP	0.000	-0.935	-0.935
b9a	b19aP	1.007	0.000	1.007
b9a	b29aP	0.000	-1.023	-1.023
b9b	b19bP	0.981	0.000	0.981
b9b	b29bP	0.000	-1.151	-1.151
b9c	b19cP	1.158	0.000	1.158
b9c	b29cP	0.000	-1.060	-1.060
b10a	b110aP	1.010	0.000	1.010
b10a	b210aP	0.000	-1.317	-1.317
b10b	b110bP	1.359	0.000	1.359
b10b	b210bP	0.000	-1.092	-1.092
b10c	b110cP	1.017	0.000	1.017
b10c	b210cP	0.000	-1.563	-1.563
b11a	b111aP	1.677	0.000	1.677
b11a	b211aP	0.000	-1.039	-1.039
b11b	b111bP	0.874	0.000	0.874
b11b	b211bP	0.000	-2.044	-2.044
b11c	b111cP	2.298	0.000	2.298
b11c	b211cP	0.000	-0.794	-0.794
p6a	pp6a1	0.000	-0.035	-0.035
p6a	pp6a2	0.000	-0.039	-0.039
p6b	pp6b1	0.009	0.000	0.009
p6b	pp6b2	0.049	0.000	0.049
p6c	pp6c1	0.178	0.000	0.178
p6c	pp6c2	0.291	0.000	0.291
p6d	pp6d1	0.726	0.000	0.726
p6d	pp6d2	0.622	0.000	0.622
p6e	pp6e1	1.098	0.000	1.098
p6e	pp6e2	1.125	0.000	1.125
p7a	pp7a1	1.770	0.000	1.770
p7a	pp7a2	1.725	0.000	1.725
p7b	pp7b1	2.690	0.000	2.690
p7b	pp7b2	2.679	0.000	2.679
p7c	pp7c1	3.553	0.000	3.553
p7c	pp7c2	3.524	0.000	3.524
p7d	pp7d1	4.610	0.000	4.610
p7d	pp7d2	4.588	0.000	4.588
p7e	pp7e1	5.673	0.000	5.673
p7e	pp7e2	5.647	0.000	5.647
p8a	pp8a1	6.648	0.000	6.648
p8a	pp8a2	6.625	0.000	6.625
p8b	pp8b1	7.524	0.000	7.524
p8b	pp8b2	7.501	0.000	7.501
p8c	pp8c1	8.236	0.000	8.236
p8c	pp8c2	8.216	0.000	8.216
p8d	pp8d1	9.072	0.000	9.072

p8d	pp8d2	9.053	0.000	9.053
p9a	pp9a1	9.830	0.000	9.830
p9a	pp9a2	9.813	0.000	9.813
p9b	pp9b1	10.885	0.000	10.885
p9b	pp9b2	10.869	0.000	10.869
p9c	pp9c1	11.640	0.000	11.640
p9c	pp9c2	11.625	0.000	11.625
p10a	pp10a1	12.807	0.000	12.807
p10a	pp10a2	12.793	0.000	12.793
p10b	pp10b1	13.451	0.000	13.451
p10b	pp10b2	13.439	0.000	13.439
p10c	pp10c1	14.819	0.000	14.819
p10c	pp10c2	14.808	0.000	14.808
p11a	pp11a1	15.209	0.000	15.209
p11a	pp11a2	15.199	0.000	15.199
p11b	pp11b1	17.045	0.000	17.045
p11b	pp11b2	17.036	0.000	17.036
p11c	pp11c1	16.694	0.000	16.694
p11c	pp11c2	16.686	0.000	16.686
b6a	b16a1	0.000	-0.078	-0.078
b6a	b16a2	0.028	0.000	0.028
b6a	b26a1	0.039	0.000	0.039
b6a	b26a2	0.036	0.000	0.036
b6b	b16b1	0.000	-0.148	-0.148
b6b	b16b2	0.054	0.000	0.054
b6b	b26b1	0.131	0.000	0.131
b6b	b26b2	0.034	0.000	0.034
b6c	b16c1	0.000	-0.178	-0.178
b6c	b16c2	0.329	0.000	0.329
b6c	b26c1	0.177	0.000	0.177
b6c	b26c2	0.000	-0.041	-0.041
b6d	b16d1	0.000	-0.310	-0.310
b6d	b16d2	0.150	0.000	0.150
b6d	b26d1	0.226	0.000	0.226
b6d	b26d2	0.000	-0.257	-0.257
b6e	b16e1	0.000	-0.253	-0.253
b6e	b16e2	0.246	0.000	0.246
b6e	b26e1	0.362	0.000	0.362
b6e	b26e2	0.000	-0.135	-0.135
b7a	b17a1	0.000	-0.504	-0.504
b7a	b17a2	0.214	0.000	0.214
b7a	b27a1	0.660	0.000	0.660
b7a	b27a2	0.000	-0.182	-0.182
b7b	b17b1	0.000	-0.711	-0.711
b7b	b17b2	0.209	0.000	0.209
b7b	b27b1	0.581	0.000	0.581
b7b	b27b2	0.000	-0.179	-0.179
b7c	b17c1	0.000	-0.732	-0.732
b7c	b17c2	0.251	0.000	0.251
b7c	b27c1	0.738	0.000	0.738
b7c	b27c2	0.000	-0.141	-0.141
b7d	b17d1	0.000	-0.797	-0.797
b7d	b17d2	0.169	0.000	0.169
b7d	b27d1	0.806	0.000	0.806
b7d	b27d2	0.000	-0.221	-0.221
b7e	b17e1	0.000	-0.958	-0.958
b7e	b17e2	0.303	0.000	0.303
b7e	b27e1	0.820	0.000	0.820
b7e	b27e2	0.000	-0.084	-0.084
b8a	b18a1	0.000	-0.627	-0.627
b8a	b18a2	0.387	0.000	0.387
b8a	b28a1	0.400	0.000	0.400
b8a	b28a2	0.000	-0.012	-0.012
b8b	b18b1	0.000	-0.529	-0.529
b8b	b18b2	0.098	0.000	0.098
b8b	b28b1	0.595	0.000	0.595
b8b	b28b2	0.000	-0.255	-0.255

b8c	b18c1	0.000	-0.641	-0.641
b8c	b18c2	0.278	0.000	0.278
b8c	b28c1	0.548	0.000	0.548
b8c	b28c2	0.000	-0.040	-0.040
b8d	b18d1	0.000	-0.646	-0.646
b8d	b18d2	0.090	0.000	0.090
b8d	b28d1	0.617	0.000	0.617
b8d	b28d2	0.000	-0.197	-0.197
b9a	b19a1	0.000	-0.732	-0.732
b9a	b19a2	0.273	0.000	0.273
b9a	b29a1	0.717	0.000	0.717
b9a	b29a2	0.000	-0.015	-0.015
b9b	b19b1	0.000	-0.894	-0.894
b9b	b19b2	0.098	0.000	0.098
b9b	b29b1	0.723	0.000	0.723
b9b	b29b2	0.000	-0.158	-0.158
b9c	b19c1	0.000	-0.827	-0.827
b9c	b19c2	0.261	0.000	0.261
b9c	b29c1	0.925	0.000	0.925
b9c	b29c2	0.029	0.000	0.029
b10a	b110a1	0.000	-1.105	-1.105
b10a	b110a2	0.032	0.000	0.032
b10a	b210a1	0.798	0.000	0.798
b10a	b210a2	0.000	-0.179	-0.179
b10b	b110b1	0.000	-0.897	-0.897
b10b	b110b2	0.322	0.000	0.322
b10b	b210b1	1.164	0.000	1.164
b10b	b210b2	0.128	0.000	0.128
b10c	b110c1	0.000	-1.383	-1.383
b10c	b110c2	0.000	-0.117	-0.117
b10c	b210c1	0.837	0.000	0.837
b10c	b210c2	0.000	-0.296	-0.296
b11a	b111a1	0.000	-0.871	-0.871
b11a	b111a2	0.560	0.000	0.560
b11a	b211a1	1.509	0.000	1.509
b11a	b211a2	0.393	0.000	0.393
b11b	b111b1	0.000	-1.885	-1.885
b11b	b111b2	0.000	-0.570	-0.570
b11b	b211b1	0.716	0.000	0.716
b11b	b211b2	0.000	-0.727	-0.727
b11c	b111c1	0.000	-0.652	-0.652
b11c	b111c2	1.236	0.000	1.236
b11c	b211c1	2.155	0.000	2.155
b11c	b211c2	1.095	0.000	1.095

- A continuación se dan los resultados para cada nudo. El desplazamiento, la rotación y la posición final de cada uno. Dichos valores deben compararse con los valores permisibles según TIA/EIA-222-F según la frecuencia del sistema radiante. Si la traslación y rotación de los nudos es mayor que la permisible la recepción de las antenas quedará fuera de servicio.

Equilibrium joint positions and rotations:

Joint Label	X-Displ (ft)	Y-Displ (ft)	Z-Displ (ft)	X-Rot (deg)	Y-Rot (deg)	Z-Rot (deg)	X-Pos (ft)	Y-Pos (ft)	Z-Pos (ft)
6P	0.3475	-0.002014	-0.04421	-0.0101	0.2754	-0.0011	3.727	-0.002014	120
7P	0.248	-0.001802	-0.03936	0.0011	0.2827	-0.0011	3.627	-0.001802	99.96
8P	0.1542	-0.0009894	-0.03224	0.0019	0.2413	-0.0012	3.533	-0.0009894	79.97

12P	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	8.383	0	0
61	0.347	0.001807	-0.01892	0.0029	0.2926	-0.0130	-1.343	-2.925	120
62	0.3512	0.0007286	-0.01894	-0.0030	0.3047	0.0111	-1.338	2.927	120
71	0.2472	0.001591	-0.01463	-0.0008	0.2822	-0.0130	-1.442	-2.925	99.99
72	0.2503	0.000377	-0.01466	-0.0018	0.2876	0.0111	-1.439	2.927	99.99
81	0.1544	0.001226	-0.01139	-0.0003	0.2402	-0.0132	-1.535	-2.925	79.99
82	0.1562	-0.0001454	-0.0114	-0.0017	0.2434	0.0113	-1.533	2.926	79.99
121	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	-4.191	-7.259	0
122	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	-4.191	7.259	0
9S	0.0832	-0.0005652	-0.02669	0.0008	0.1593	-0.0006	4.713	-0.0005652	59.97
10S	0.03625	-0.0003735	-0.01982	0.0006	0.1079	-0.0003	5.917	-0.0003735	39.98
11S	0.007738	-0.0001723	-0.01026	0.0005	0.0365	-0.0001	7.139	-0.0001723	19.99
6aS	0.3279	-0.002426	-0.04332	0.0025	0.2892	-0.0011	3.707	-0.002426	116
6bS	0.3075	-0.001985	-0.0424	0.0011	0.2861	-0.0011	3.687	-0.001985	112
6cS	0.2879	-0.00221	-0.04145	0.0022	0.2892	-0.0011	3.667	-0.00221	108
6dS	0.2675	-0.001847	-0.04044	0.0036	0.2851	-0.0012	3.647	-0.001847	104
7aS	0.228	-0.001596	-0.03818	0.0029	0.2816	-0.0012	3.607	-0.001596	95.96
7bS	0.2089	-0.001466	-0.0369	0.0019	0.2732	-0.0012	3.588	-0.001466	91.96
7cS	0.1899	-0.001299	-0.03548	0.0024	0.2661	-0.0012	3.569	-0.001299	87.96
7dS	0.1718	-0.001148	-0.03393	0.0023	0.2564	-0.0012	3.551	-0.001148	83.97
8aS	0.1343	-0.0008834	-0.03121	0.0011	0.2197	-0.0011	3.826	-0.0008834	74.97
8bS	0.1155	-0.0007775	-0.02994	0.0013	0.2026	-0.0009	4.12	-0.0007775	69.97
8cS	0.09867	-0.0006722	-0.02843	0.0014	0.1842	-0.0007	4.416	-0.0006722	64.97
9aS	0.06555	-0.0005013	-0.02469	0.0005	0.1447	-0.0005	5.113	-0.0005013	53.31
9bS	0.04941	-0.0004375	-0.02244	0.0006	0.1231	-0.0004	5.513	-0.0004375	46.64
10aS	0.02423	-0.0003079	-0.01697	0.0006	0.0835	-0.0003	6.322	-0.0003079	33.32
10bS	0.01582	-0.0002411	-0.0137	0.0006	0.0732	-0.0002	6.731	-0.0002411	26.65
11aS	0.004143	-0.000116	-0.007038	0.0005	0.0411	-0.0001	7.553	-0.000116	13.33
11bS	-0.001024	-5.742e-005	-0.003816	0.0006	0.0135	-0.0000	7.965	-5.742e-005	6.663
91	0.08381	0.001462	-0.007335	-0.0012	0.1620	-0.0088	-2.231	-4.008	59.99
92	0.08481	-0.0008583	-0.007343	0.0002	0.1635	0.0078	-2.23	4.009	59.99
101	0.03676	0.001339	-0.00398	0.0019	0.1050	-0.0058	-2.904	-5.092	40
102	0.03741	-0.0009535	-0.003984	-0.0025	0.1060	0.0052	-2.903	5.092	40
111	0.01014	0.002182	-0.001989	-0.0123	0.0509	-0.0024	-3.556	-6.174	20
112	0.01044	-0.002008	-0.00199	0.0117	0.0518	0.0023	-3.555	6.174	20
6a1	0.3267	0.001929	-0.01803	-0.0007	0.2847	-0.0129	-1.363	-2.925	116
6a2	0.3305	0.0006004	-0.01806	0.0008	0.2808	0.0111	-1.359	2.927	116
6b1	0.307	0.001792	-0.01715	-0.0012	0.2868	-0.0130	-1.383	-2.925	112
6b2	0.3113	0.0007173	-0.01718	-0.0002	0.2888	0.0111	-1.378	2.927	112
6c1	0.2868	0.001802	-0.01628	-0.0005	0.2835	-0.0130	-1.403	-2.925	108
6c2	0.2904	0.0005342	-0.01632	-0.0024	0.2882	0.0111	-1.399	2.927	108
6d1	0.2671	0.001708	-0.01545	-0.0020	0.2842	-0.0130	-1.422	-2.925	104
6d2	0.2707	0.0004373	-0.01548	-0.0006	0.2865	0.0111	-1.419	2.927	104
7a1	0.2278	0.001571	-0.01386	-0.0010	0.2777	-0.0130	-1.462	-2.925	95.99
7a2	0.2307	0.0002142	-0.01389	-0.0016	0.2810	0.0112	-1.459	2.927	95.99
7b1	0.2084	0.001451	-0.01315	-0.0014	0.2730	-0.0131	-1.481	-2.925	91.99
7b2	0.211	0.0001569	-0.01317	-0.0011	0.2775	0.0112	-1.479	2.927	91.99
7c1	0.1898	0.001412	-0.01249	-0.0003	0.2648	-0.0131	-1.5	-2.925	87.99
7c2	0.1921	1.728e-005	-0.01252	-0.0022	0.2686	0.0112	-1.498	2.927	87.99
7d1	0.1715	0.001353	-0.01191	-0.0019	0.2538	-0.0131	-1.518	-2.925	83.99
7d2	0.1736	-9.848e-005	-0.01192	-0.0007	0.2582	0.0112	-1.516	2.926	83.99
8a1	0.134	0.001402	-0.01019	0.0007	0.2210	-0.0121	-1.712	-3.196	74.99
8a2	0.1356	-0.0004458	-0.0102	-0.0020	0.2231	0.0104	-1.71	3.197	74.99
8b1	0.1158	0.001357	-0.009125	-0.0022	0.2002	-0.0109	-1.887	-3.467	69.99
8b2	0.1172	-0.00052	-0.009137	0.0008	0.2024	0.0094	-1.885	3.468	69.99
8c1	0.09886	0.0013	-0.008159	0.0009	0.1837	-0.0101	-2.06	-3.738	64.99
8c2	0.1001	-0.0005806	-0.008169	-0.0024	0.1861	0.0089	-2.059	3.738	64.99
9a1	0.06586	0.001359	-0.006067	0.0009	0.1428	-0.0078	-2.458	-4.369	53.33
9a2	0.06674	-0.0008307	-0.006074	-0.0015	0.1437	0.0070	-2.457	4.37	53.33
9b1	0.05046	0.001628	-0.004983	-0.0015	0.1253	-0.0068	-2.682	-4.73	46.66
9b2	0.05123	-0.001171	-0.004988	0.0009	0.1264	0.0061	-2.681	4.731	46.66
10a1	0.02585	0.001841	-0.003197	-0.0030	0.0884	-0.0047	-3.123	-5.452	33.33
10a2	0.02638	-0.001526	-0.0032	0.0024	0.0894	0.0043	-3.123	5.453	33.33
10b1	0.01638	0.001242	-0.002449	0.0055	0.0663	-0.0038	-3.341	-5.814	26.66
10b2	0.01679	-0.0009971	-0.002451	-0.0062	0.0673	0.0035	-3.341	5.814	26.66
11a1	0.004848	0.0008098	-0.001171	0.0087	0.0310	-0.0020	-3.769	-6.537	13.33
11a2	0.005049	-0.0006935	-0.001172	-0.0092	0.0318	0.0019	-3.769	6.537	13.33

11b1	0.002454	0.002839	-0.0007276	-0.0077	0.0236	-0.0011	-3.98	-6.896	6.666
11b2	0.002553	-0.002781	-0.0007281	0.0071	0.0247	0.0011	-3.98	6.896	6.666

- Aquí se indican las reacciones en los nudos de los anclajes a las bases. Dichos valores son útiles para el diseño de la cimentación de la estructura.

Joint support reactions:

Joint Label	X-Force (kips)	Y-Force (kips)	Z-Force (kips)	X-Moment (ft-k)	Y-Moment (ft-k)	Z-Moment (ft-k)
12P	-3.851	0.065	44.775	-0.013	0.721	-0.001
121	-2.554	-3.320	-17.823	1.042	-0.633	0.002
122	-2.667	3.256	-17.814	-1.029	-0.656	-0.003

- A continuación se despliegan las componentes de las cargas debidas a la velocidad del viento en cada nudo y los componentes de las reacciones en los mismos. Este procedimiento se realiza mediante una sumatoria de fuerzas en cada una de las uniones.

Joint displacements, loads and member forces on joints:

Joint Label	X External Load (kips)	Y External Load (kips)	Z External Load (kips)	X Member Force (kips)	Y Member Force (kips)	Z Member Force (kips)
6P	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
7P	0.6125	0.0000	-0.0787	-0.6125	-0.0000	0.0787
8P	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
12P	0.2032	0.0000	-0.2627	3.6474	-0.0648	-44.5126
61	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
62	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	0.0000	0.0587
71	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
72	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	0.0000	0.0587
81	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
82	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
121	0.2032	0.0000	-0.2627	2.3509	3.3205	18.0853
122	0.2032	0.0000	-0.2627	2.4637	-3.2556	18.0772
9S	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
10S	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
11S	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
6aS	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6bS	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6cS	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6dS	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
7aS	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7bS	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7cS	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7dS	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
8aS	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
8bS	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
8cS	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
9aS	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
9bS	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
10aS	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
10bS	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
11aS	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	0.0000	0.2627
11bS	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	0.0000	0.2627
91	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933

92	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	-0.0000	0.0933
101	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
102	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	-0.0000	0.1827
111	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
112	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	-0.0000	0.1975
6a1	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6a2	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	0.0000	0.0587
6b1	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6b2	0.6184	0.0000	-0.0787	-0.6184	0.0000	0.0787
6c1	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6c2	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	0.0000	0.0587
6d1	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	-0.0000	0.0587
6d2	0.0605	0.0000	-0.0587	-0.0605	0.0000	0.0587
7a1	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7a2	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
7b1	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7b2	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
7c1	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
7c2	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
7d1	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	0.0000	0.0757
7d2	0.0738	0.0000	-0.0757	-0.0738	-0.0000	0.0757
8a1	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
8a2	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	-0.0000	0.0933
8b1	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
8b2	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	-0.0000	0.0933
8c1	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	0.0000	0.0933
8c2	0.0929	0.0000	-0.0933	-0.0929	-0.0000	0.0933
9a1	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
9a2	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	-0.0000	0.1827
9b1	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	0.0000	0.1827
9b2	0.1497	0.0000	-0.1827	-0.1497	-0.0000	0.1827
10a1	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
10a2	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	-0.0000	0.1975
10b1	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	0.0000	0.1975
10b2	0.1638	0.0000	-0.1975	-0.1638	-0.0000	0.1975
11a1	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	0.0000	0.2627
11a2	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	-0.0000	0.2627
11b1	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	0.0000	0.2627
11b2	0.2032	0.0000	-0.2627	-0.2032	-0.0000	0.2627

- En este inciso son indicados los esfuerzos de torsión en cada elemento, los cuales son mínimos, y los momentos inducidos en cada elemento. Estos son denominados momentos de segundo orden y son absorbidos por los pernos y las placas de unión.

Moments for angles modeled as beams:

Angle Label	Torsion (ft-lbs)	Origin X Moment (ft-lbs)	Origin Z Moment (ft-lbs)	End X Moment (ft-lbs)	End Z Moment (ft-lbs)
pp6aP	0.00	-0.00	0.00	-33.79	-37.03
pp6bP	0.00	33.79	37.03	37.47	45.43
pp6cP	0.00	-37.48	-45.43	-40.18	-53.81
pp6dP	0.00	40.18	53.81	32.78	75.30
pp6eP	0.00	-32.79	-75.30	-19.81	-62.41
pp7aP	0.01	19.80	62.41	10.48	68.33
pp7bP	0.01	-10.49	-68.33	-5.29	-24.12
pp7cP	0.01	5.28	24.12	2.66	61.57
pp7dP	0.01	-2.66	-61.57	-2.10	-10.62
pp7eP	0.01	2.09	10.62	4.24	90.56

pp8aP	-0.26	-90.56	4.27	0.33	1.19
pp8bP	-0.26	-0.33	-1.19	71.52	-0.58
pp8cP	-0.26	-71.52	0.59	6.19	0.99
pp8dP	-0.26	-6.19	-0.99	98.37	-3.23
pp9aP	-0.26	-98.37	3.21	12.73	0.85
pp9bP	-0.26	-12.72	-0.85	151.84	-0.27
pp9cP	-0.25	-151.84	0.27	-36.44	0.16
pp10aP	-0.25	36.44	-0.16	221.95	-0.10
pp10bP	-0.25	-221.94	0.10	-143.34	0.35
pp10cP	-0.25	143.34	-0.35	422.54	-0.95
pp11aP	-0.25	-422.54	0.93	-496.61	-0.29
pp11bP	-0.25	496.61	0.29	937.87	3.13
pp11cP	-0.25	-937.87	-3.13	-721.35	-13.28
pp6a1	0.01	-0.01	0.00	9.46	21.15
pp6a2	-0.01	0.01	0.00	-10.20	64.04
pp6b1	0.02	-9.48	-21.15	-8.16	-26.75
pp6b2	-0.01	10.22	-64.04	12.89	-85.61
pp6c1	0.03	8.12	26.75	6.36	35.59
pp6c2	-0.02	-12.86	85.61	-7.06	87.45
pp6d1	0.03	-6.40	-35.58	1.63	-39.17
pp6d2	-0.03	7.10	-87.45	-2.50	-78.83
pp6e1	0.04	-1.68	39.17	-8.16	49.72
pp6e2	-0.04	2.54	78.83	8.91	73.26
pp7a1	0.05	8.11	-49.72	9.36	-25.97
pp7a2	-0.04	-8.87	-73.26	-9.98	-38.38
pp7b1	0.06	-9.42	25.97	-7.25	50.74
pp7b2	-0.05	10.03	38.38	7.55	56.79
pp7c1	0.06	7.19	-50.74	1.15	-7.55
pp7c2	-0.05	-7.50	-56.79	-1.60	-10.10
pp7d1	0.07	-1.21	7.55	7.26	65.48
pp7d2	-0.06	1.65	10.10	-6.33	65.29
pp7e1	0.07	-7.33	-65.47	-15.67	6.63
pp7e2	-0.06	6.38	-65.29	11.78	12.57
pp8a1	-0.05	16.71	2.99	-31.00	68.27
pp8a2	-0.38	16.70	4.09	-31.09	-66.72
pp8b1	-0.04	30.55	-68.48	-6.79	12.17
pp8b2	-0.39	30.66	66.93	-6.68	-12.91
pp8c1	-0.04	6.71	-12.21	-41.60	39.14
pp8c2	-0.39	6.61	12.95	-41.58	-37.52
pp8d1	-0.03	41.39	-39.35	-0.21	42.64
pp8d2	-0.40	41.39	37.72	-0.41	-48.79
pp9a1	-0.04	-0.00	-42.65	-90.95	73.10
pp9a2	-0.39	0.15	48.81	-90.93	-71.70
pp9b1	-0.02	90.60	-73.53	36.35	49.64
pp9b2	-0.40	90.59	72.13	36.39	-50.01
pp9c1	-0.03	-36.56	-49.49	-139.68	68.88
pp9c2	-0.39	-36.61	49.87	-139.69	-68.72
pp10a1	-0.01	139.35	-69.54	105.34	57.82
pp10a2	-0.41	139.37	69.37	105.37	-57.92
pp10b1	-0.04	-105.59	-57.38	-248.02	53.37
pp10b2	-0.39	-105.62	57.48	-248.02	-52.77
pp10c1	0.01	247.76	-54.54	304.28	115.56
pp10c2	-0.44	247.77	53.94	304.24	-117.36
pp11a1	-0.05	-304.82	-114.13	-755.10	-10.26
pp11a2	-0.37	-304.81	115.90	-755.08	9.65
pp11b1	0.04	755.11	8.86	921.26	245.11
pp11b2	-0.47	755.09	-8.26	921.26	-238.94
pp11c1	-0.14	-922.65	-239.83	-1218.67	24.93
pp11c2	-0.28	-922.62	233.65	-1218.76	-51.20

- Por último se comprueba que los elementos utilizados soporten satisfactoriamente los esfuerzos a los que están sometidos. Dichos valores se representan con el porcentaje del esfuerzo máximo capaz de soportar por sí mismo a compresión:

Group Summary (Compression Portion):

Group Label	Group Desc.	Angle Type	Angle Size	Steel Strength (ksi)	Max Usage %	Max Use In Comp. %	Comp. Control Member	Comp. Force (kips)	L/R Capacity (kips)	Conn. Shear Capacity (kips)	Conn. Bearing Capacity (kips)
p6a	60 pipe	Nom 2 1/2"		50.0	0.21	0.21	pp6aP	-0.114	41.214	0.000	0.000
p6b	60 pipe	Nom 2 1/2"		50.0	0.65	0.65	pp6bP	-0.355	41.214	0.000	0.000
p6c	60 pipe	Nom 2 1/2"		50.0	1.66	1.66	pp6cP	-0.911	41.214	0.000	0.000
p6d	60 pipe	Nom 3"		50.0	2.74	2.74	pp6dP	-2.081	57.171	0.000	0.000
p6e	60 pipe	Nom 3"		50.0	4.21	4.21	pp6eP	-3.202	57.171	0.000	0.000
p7a	70 pipe	Nom 3"		50.0	6.35	6.35	pp7aP	-4.825	57.171	0.000	0.000
p7b	70 pipe	Nom 3"		50.0	8.58	8.58	pp7bP	-6.526	57.171	0.000	0.000
p7c	70 pipe	Nom 3"		50.0	11.44	11.44	pp7cP	-8.696	57.171	0.000	0.000
p7d	70 pipe	Nom 3"		50.0	14.39	14.39	pp7dP	-10.940	57.171	0.000	0.000
p7e	70 pipe	Nom 3"		50.0	17.47	17.47	pp7eP	-13.282	57.171	0.000	0.000
p8a	80 pipe	Nom 3"		50.0	21.64	21.64	pp8aP	-15.444	53.662	0.000	0.000
p8b	80 pipe	Nom 3"		50.0	24.54	24.54	pp8bP	-17.517	53.662	0.000	0.000
p8c	80 pipe	Nom 3"		50.0	26.99	26.99	pp8cP	-19.265	53.662	0.000	0.000
p8d	80 pipe	Nom 3"		50.0	29.57	29.57	pp8dP	-21.103	53.662	0.000	0.000
p9a	90 pipe	Nom 4"		50.0	22.99	22.99	pp9aP	-23.129	75.645	0.000	0.000
p9b	90 pipe	Nom 4"		50.0	25.26	25.26	pp9bP	-25.417	75.645	0.000	0.000
p9c	90 pipe	Nom 4"		50.0	27.81	27.81	pp9cP	-27.980	75.645	0.000	0.000
p10a	10 pipe	Nom 4"		50.0	30.01	30.01	pp10aP	-30.197	75.645	0.000	0.000
p10b	10 pipe	Nom 4"		50.0	32.77	32.77	pp10bP	-32.973	75.645	0.000	0.000
p10c	10 pipe	Nom 4"		50.0	34.88	34.88	pp10cP	-35.096	75.645	0.000	0.000
p11a	11 pipe	Nom 5"		50.0	26.24	26.24	pp11aP	-38.198	109.464	0.000	0.000
p11b	11 pipe	Nom 5"		50.0	27.53	27.53	pp11bP	-40.080	109.464	0.000	0.000
p11c	11 pipe	Nom 5"		50.0	30.20	30.20	pp11cP	-43.967	109.464	0.000	0.000
b6a	61 SAE	2X2X0.1875		36.0	3.24	3.24	b16a1	-0.078	8.194	1.800	5.400
b6b	62 SAE	2X2X0.1875		36.0	9.15	9.15	b26bP	-0.219	8.194	1.800	5.400
b6c	63 SAE	2X2X0.1875		36.0	33.63	33.63	b26cP	-0.805	8.194	1.800	5.400
b6d	64 SAE	2X2X0.1875		36.0	31.85	22.64	b26dP	-0.542	8.194	1.800	5.400
b6e	65 SAE	2X2X0.1875		36.0	30.74	30.74	b26eP	-0.736	8.194	1.800	5.400
b7a	71 SAE	2X2X0.1875		36.0	45.65	35.34	b27aP	-0.846	8.194	1.800	5.400
b7b	72 SAE	2X2X0.1875		36.0	46.95	46.95	b27bP	-1.124	8.194	1.800	5.400
b7c	73 SAE	2X2X0.1875		36.0	47.52	46.42	b27cP	-1.111	8.194	1.800	5.400
b7d	74 SAE	2X2X0.1875		36.0	49.84	49.78	b27dP	-1.192	8.194	1.800	5.400
b7e	75 SAE	2X2X0.1875		36.0	56.12	56.12	b27eP	-1.343	8.194	1.800	5.400
b8a	81 SAE	2X2X0.1875		36.0	42.98	42.98	b28aP	-1.029	7.264	1.800	5.400
b8b	82 SAE	2X2X0.1875		36.0	39.65	36.84	b28bP	-0.882	6.751	1.800	5.400
b8c	83 SAE	2X2X0.1875		36.0	40.14	40.14	b28cP	-0.961	6.235	1.800	5.400
b8d	84 SAE	2X2X0.1875		36.0	39.04	39.04	b28dP	-0.935	5.764	1.800	5.400
b9a	91 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	42.71	42.71	b29aP	-1.023	10.790	1.800	7.200
b9b	92 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	48.07	48.07	b29bP	-1.151	9.944	1.800	7.200
b9c	93 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	48.37	44.27	b29cP	-1.060	9.174	1.800	7.200
b10a	101 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	55.00	55.00	b210aP	-1.317	8.475	1.800	7.200
b10b	102 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	56.75	45.61	b210bP	-1.092	7.842	1.800	7.200
b10c	103 SAE	2.5X2.5X0.25		36.0	65.27	65.27	b210cP	-1.563	7.268	1.800	7.200
b11a	111 SAE	3X3X0.25		36.0	70.03	43.42	b211aP	-1.039	11.053	1.800	7.200
b11b	112 SAE	3X3X0.25		36.0	85.36	85.36	b211bP	-2.044	10.306	1.800	7.200
b11c	113 SAE	3X3X0.25		36.0	95.98	33.18	b211cP	-0.794	9.625	1.800	7.200

- Resumen de elemento a tensión:

Group summary (tension portion):

Group Label	Group Desc.	Angle Type	Angle Size	Steel Strength (ksi)	Max Usage %	Max Tens. Use %	Tension In Control Member	Tension Force (kips)	Net Section Capacity	Conn. Shear Capacity (kips)	Conn. Bearing Capacity (kips)
p6a	60	pipe	Nom 2 1/2"	50.0	0.21	0.00	pp6a2	0.000	51.000	0.000	0.000
p6b	60	pipe	Nom 2 1/2"	50.0	0.65	0.07	pp6b2	0.049	51.000	0.000	0.000
p6c	60	pipe	Nom 2 1/2"	50.0	1.66	0.43	pp6c2	0.291	51.000	0.000	0.000
p6d	60	pipe	Nom 3"	50.0	2.74	0.82	pp6d1	0.726	66.900	0.000	0.000
p6e	60	pipe	Nom 3"	50.0	4.21	1.26	pp6e2	1.125	66.900	0.000	0.000
p7a	70	pipe	Nom 3"	50.0	6.35	1.99	pp7a1	1.770	66.900	0.000	0.000
p7b	70	pipe	Nom 3"	50.0	8.58	3.02	pp7b1	2.690	66.900	0.000	0.000
p7c	70	pipe	Nom 3"	50.0	11.44	3.99	pp7c1	3.553	66.900	0.000	0.000
p7d	70	pipe	Nom 3"	50.0	14.39	5.18	pp7d1	4.610	66.900	0.000	0.000
p7e	70	pipe	Nom 3"	50.0	17.47	6.38	pp7e1	5.673	66.900	0.000	0.000
p8a	80	pipe	Nom 3"	50.0	21.64	7.47	pp8a1	6.648	66.900	0.000	0.000
p8b	80	pipe	Nom 3"	50.0	24.54	8.46	pp8b1	7.524	66.900	0.000	0.000
p8c	80	pipe	Nom 3"	50.0	26.99	9.26	pp8c1	8.236	66.900	0.000	0.000
p8d	80	pipe	Nom 3"	50.0	29.57	10.20	pp8d1	9.072	66.900	0.000	0.000
p9a	90	pipe	Nom 4"	50.0	22.99	7.77	pp9a1	9.830	95.100	0.000	0.000
p9b	90	pipe	Nom 4"	50.0	25.26	8.61	pp9b1	10.885	95.100	0.000	0.000
p9c	90	pipe	Nom 4"	50.0	27.81	9.20	pp9c1	11.640	95.100	0.000	0.000
p10a	10	pipe	Nom 4"	50.0	30.01	10.13	pp10a1	12.807	95.100	0.000	0.000
p10b	10	pipe	Nom 4"	50.0	32.77	10.63	pp10b1	13.451	95.100	0.000	0.000
p10c	10	pipe	Nom 4"	50.0	34.88	11.72	pp10c1	14.819	95.100	0.000	0.000
p11a	11	pipe	Nom 5"	50.0	26.24	8.86	pp11a1	15.209	129.000	0.000	0.000
p11b	11	pipe	Nom 5"	50.0	27.53	9.93	pp11b1	17.045	129.000	0.000	0.000
p11c	11	pipe	Nom 5"	50.0	30.20	9.73	pp11c1	16.694	129.000	0.000	0.000
b6a	61	SAE	2X2X0.1875	36.0	3.24	2.47	b16aP	0.059	10.882	1.800	5.400
b6b	62	SAE	2X2X0.1875	36.0	9.15	5.48	b26b1	0.131	10.882	1.800	5.400
b6c	63	SAE	2X2X0.1875	36.0	33.63	14.12	b16cP	0.338	10.882	1.800	5.400
b6d	64	SAE	2X2X0.1875	36.0	31.85	31.85	b16dP	0.763	10.882	1.800	5.400
b6e	65	SAE	2X2X0.1875	36.0	30.74	27.93	b16eP	0.669	10.882	1.800	5.400
b7a	71	SAE	2X2X0.1875	36.0	45.65	45.65	b17aP	1.093	10.882	1.800	5.400
b7b	72	SAE	2X2X0.1875	36.0	46.95	39.69	b17bP	0.950	10.882	1.800	5.400
b7c	73	SAE	2X2X0.1875	36.0	47.52	47.52	b17cP	1.138	10.882	1.800	5.400
b7d	74	SAE	2X2X0.1875	36.0	49.84	49.84	b17dP	1.193	10.882	1.800	5.400
b7e	75	SAE	2X2X0.1875	36.0	56.12	50.51	b17eP	1.209	10.882	1.800	5.400
b8a	81	SAE	2X2X0.1875	36.0	42.98	33.41	b18aP	0.800	10.882	1.800	5.400
b8b	82	SAE	2X2X0.1875	36.0	39.65	39.65	b18bP	0.949	10.882	1.800	5.400
b8c	83	SAE	2X2X0.1875	36.0	40.14	36.24	b18cP	0.868	10.882	1.800	5.400
b8d	84	SAE	2X2X0.1875	36.0	39.04	37.85	b18dP	0.906	10.882	1.800	5.400
b9a	91	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	42.71	42.06	b19aP	1.007	18.889	1.800	7.200
b9b	92	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	48.07	40.96	b19bP	0.981	18.889	1.800	7.200
b9c	93	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	48.37	48.37	b19cP	1.158	18.889	1.800	7.200
b10a	101	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	55.00	42.20	b110aP	1.010	18.889	1.800	7.200
b10b	102	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	56.75	56.75	b110bP	1.359	18.889	1.800	7.200
b10c	103	SAE	2.5X2.5X0.25	36.0	65.27	42.47	b110cP	1.017	18.889	1.800	7.200
b11a	111	SAE	3X3X0.25	36.0	70.03	70.03	b111aP	1.677	23.389	1.800	7.200
b11b	112	SAE	3X3X0.25	36.0	85.36	36.52	b111bP	0.874	23.389	1.800	7.200
b11c	113	SAE	3X3X0.25	36.0	95.98	95.98	b111cP	2.298	23.389	1.800	7.200

- Se puede comparar que ninguno de los elementos sobrepase el 100% de su capacidad a tensión y compresión, con lo cual se puede concluir que los perfiles seleccionados cumplen satisfactoriamente para todos los casos a tensión y compresión.

Nota: el juego de planos se encuentra en el apéndice.

3. DISEÑO DE PIEZAS EN TORRES

Básicamente los elementos que forman la estructura de una torre, tanto los principales o montantes como los secundarios o diagonales, están sometidos a esfuerzos de tensión y compresión.

De acuerdo a especificaciones TIA/EIA-222-F, en estructuras inferiores a 2,556 pies o su equivalente a 213 m, dichos esfuerzos deberán incrementarse en un tercio. En estructuras superiores a 4,392 pies o su equivalente a 366 m, no se deberá realizar ningún incremento y en estructuras comprendidas entre estos rangos dicho incremento deberá realizarse de 1/3 a 0, realizando una interpolación lineal.

Previo a realizar el análisis estructural de una torre, deberá predimensionarse la estructura y sus elementos, esto con el fin de tener los valores necesarios para integrar debidamente las cargas debido al viento y al peso propio de la estructura. Así mismo podremos saber las capacidades estructurales dichos elementos.

Posteriormente de haber realizado el análisis estructural para el cual el diseñador puede apoyarse de distintos programas, tales como el “*STAAD/Pro*”, el “*Power Line System*”, etc, se procede a corroborar que los miembros seleccionados cumplan satisfactoriamente soportando los esfuerzos obtenidos como resultado del análisis.

Muchas veces el perfil seleccionado, no soporta las cargas resultantes del análisis, y se tiene que optar por un perfil mayor. En otros casos sucede lo contrario, el perfil seleccionado soporta varias veces dichos esfuerzos, y por lo mismo es necesario utilizar uno inferior, para efectos de economía en la producción.

En ambos casos es necesario realizar nuevamente el análisis completo, ya que las dimensiones y pesos de los elementos han cambiado.

La relación de ancho/ espesor de los miembros estructurales no deberán ser mayores a 25, según especificaciones “TIA/EIA-222-F”.

Los espesores mínimos de las placas y planchas de unión dependen del diámetro del perno utilizado en la misma, éstas se seleccionan de acuerdo a normas AISC.

El diseño en general de los miembros estructurales deberá hacerse de acuerdo a las especificaciones AISC.

3.1- Piezas a tensión

La selección de un perfil que se va a utilizar como miembro sujeto a tensión, es uno de los problemas más sencillos del diseño de piezas, como no existe peligro de pandeo, los cálculos se reducen a la simple división de la carga entre el esfuerzo de tensión admisible, lo que nos da el área neta necesaria de la sección transversal requerida ($A_{req} = T/F_a$), y de aquí la selección del perfil de acero que tenga dicha área.

El esfuerzo admisible en miembros sujetos a tensión es el 60% del límite de fluencia (F_y), esto sin exceder el 50% del límite de la resistencia a la ruptura a la tensión (F_u). Estos esfuerzos admisibles se aplican en la sección neta de los miembros, con excepción de la sección transversal que contenga agujeros para pasadores, en donde el esfuerzo permisible se reduce al 45% del límite de fluencia y siempre en la sección neta.

La presencia de un agujero en un miembro sujeto a tensión, obviamente incrementa los esfuerzos, aún si el área del agujero queda ocupada por un tornillo.

Según estudios foto-elásticos existe un incremento indudable en la intensidad del esfuerzo alrededor de los bordes de los agujeros, en ocasiones igual o varias veces al esfuerzo medio, por eso se utilizan aceros dúctiles, generalmente al carbono.

Además para que un miembro cumpla su función adecuadamente a tensión, su relación de esbeltez no debe estar sobre los límites, esta relación de esbeltez está dada por KL/r , donde K es un factor de corrección de longitud que se obtiene de las curvas correspondientes a la tabla No. IV, y L , es la longitud entre apoyos de la sección a tensión y r es el radio de giro mínimo de dicha sección, el cual está dado por $r = \sqrt{I/A}$, I es el momento de inercia y A el área de la misma.

Tabla IV. **Curvas de relación de esbeltez efectiva**

ANSI / ASCE 10 - 90	
Curvas de relación de esbeltez efectiva	
Curvas 1 - 3 $L / R \leq 120$	Curvas 4 - 6 $L / R \geq 120$
<p>Curva 1 $KL / R = L / R$ Ambas uniones concéntricas</p> <p>Curva 2 $KL/R = 30 + 0.75 L/R$ Una unión excéntrica</p> <p>Curva 3 $KL/R = 60 + 0.50 L/R$ Excéntricas ambas uniones</p>	<p>Curva 4 $KL / R = L / R$ Sin restricciones en uniones</p> <p>Curva 5 $KL/R = 28.6 + 0.762 L/R$ Parcialmente restringida una unión</p> <p>Curva 6 $KL/R = 46.2 + 0.615 L/R$ Parcialmente restringidas ambas uniones</p>

Fuente: TIA / EIA – 222 - F

Estos valores se encuentran en las especificaciones AISC, tabulados de acuerdo a las dimensiones de la sección y el esfuerzo de fluencia del acero.

El cálculo de la relación de esbeltez en miembros sujetos a tensión, es para asegurar que se use una sección con rigidez suficiente, y así evitar deflexiones excesivas y vibraciones provocadas por la fuerza perpendicular que provoca el viento. En miembros principales la esbeltez máxima debe ser 240, mientras que en miembros secundarios es permitida una esbeltez de hasta 300, según AISC. Aunque en la práctica rige los límites de esbeltez de dichos miembros a compresión, por ser la crítica.

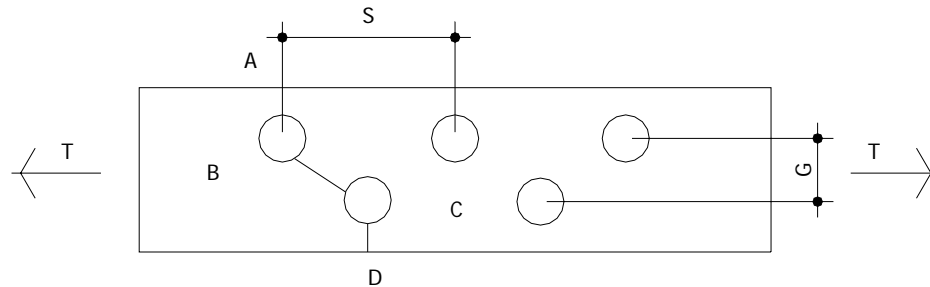
De acuerdo a investigaciones realizadas durante varias décadas, se ha demostrado que las juntas atornilladas rara vez alcanzan una eficiencia mayor al 85% del ancho total de la sección, es por eso que el AISC permite como ancho máximo dicho porcentaje del ancho total requerido.

En el proceso de la fabricación de los miembros para conectarse con tornillos los agujeros se punzonan con un diámetro 1/16" mayor que el correspondiente al tornillo, debe tomarse en cuenta dicha medida al calcular el área neta de la sección.

Generalmente en las uniones de montantes para torres de sección cuadrada, los cuales son de sección angular, es necesario colocar más de una hilera de pernos dispuestos de manera alterna.

El AISC utiliza un método simple para calcular el ancho neto en un miembro sujeto a tensión a lo largo de una sección con agujeros alternados. El método consiste en considerar el ancho total del miembro y restar el diámetro de los agujeros a lo largo de la sección en zigzag considerada, y añadir por cada diagonal una cantidad dada por la expresión $s^2/4g$. (Ver figura 23).

Figura 23. Uniones de tope con soldadura



Ejemplos:

Determinar las capacidades a tensión de los siguientes elementos :

El elemento pp11ap del grupo p11a de la torre del ejemplo de la sección 2.1, dicho elemento posee las siguientes características:

montante tubular de diámetro 5": $A = 4.3$ pulgadas², $r = 1.88$ pulgadas., $L = 78.75$ pulgadas, $F_y = 50$ ksi, $K = 1$ según tabla IV

Solución

al revisar la relación de esbeltez KL/r , se tiene

$$(1) (78.75 \text{ pulgadas}) / 1.88 \text{ pulgadas} = 43 < 240 \text{ ok}$$

a partir de la formula P tensión = $A (F_y) 0.6$, se obtiene

$$P \text{ tensión} = (4.3 \text{ pulgadas}^2) 0.6(50 \text{ kip/ pulgadas}^2) = 129 \text{ Kip}$$

El elemento b16ap del grupo b6a de la torre del ejemplo de la sección 2.1, dicho elemento posee las siguientes características:

sección angular de 2 " x 2" x 3/16": $A = 0.71$ pulgadas², $r_{\min} = 0.617$ pulgadas, $L = 66.78$ pulgadas, $F_y = 36$ ksi, $K = 1$ (tabla IV)

Solución

se revisa la relación de esbeltez KL/r , y se tiene

$$(1) (66.78 \text{ pulgadas}) / 0.62 \text{ pulgadas} = 108 < 300 \text{ ok}$$

si se asumen uniones con tornillos de diámetro 1/8", el área neta es

$$0.71 \text{ pulgadas}^2 - (1/2'' + 1/16'')(1/8'') = 0.67 \text{ pulgadas}^2$$

a partir de la fórmula $T = A (F_y) 0.45$, se obtiene

$$T = (0.67 \text{ pulgadas}^2) 0.45(36 \text{ kip/ pulgadas}^2) = 10.882 \text{ Kip.}$$

3.2- Piezas a compresión

Hay dos diferencias significativas entre los miembros sujetos a tensión y los sujetos a compresión:

- Así como las cargas de tensión tienden a mantener recta la pieza, las cargas de compresión tienden a pandearla fuera del plano de las cargas (una situación que es muy importante).
- La presencia de agujeros para remaches o tornillos en los miembros sujetos a tensión, reduce el área disponible para resistir a las cargas; pero en los miembros sujetos a compresión, se considera que los remaches o tornillos llenan los agujeros (aunque puede existir un deslizamiento inicial muy ligero, hasta que los tornillos o remaches se acomodan y se apoyan en el material circundante) y el área total queda disponible para resistir la carga.

La relación de esbeltez para miembros sujetos a compresión tiene valores máximos de 150 para miembros principales o montantes, 200 para miembros secundarios o diagonales y de 250 para redundantes.

Tanto los miembros principales como los secundarios al trabajar a compresión, se comportan tal y como una columna lo hace.

Cuando se han ensayado columnas de perfiles laminados, se ha encontrado que su límite de proporcionalidad se ha alcanzado para valores P/A de sólo un poco más de la mitad del esfuerzo de fluencia, y que de ahí hasta el mismo límite de fluencia, la relación esfuerzo-deformación es no lineal.

El matemático suizo Leonardo Euler , fue la primera persona que se percató del significado del pandeo en las columnas, la deducción de su fórmula que es la más famosa para este tipo de elementos se reduce a la siguiente expresión:

$$C/A = \pi^2 E / (KI/r)^2$$

Una de las expresiones actuales del AISC para columnas, es dividir la fórmula de Euler por un factor de seguridad 23/12, esta fórmula puede escribirse como:

$$P/A = 12 \pi^2 E / 23 (KI/r)^2$$

El AISC considera que el límite superior del pandeo elástico queda definido por un esfuerzo promedio igual al 50% del límite de fluencia ($F_y/2$). Si este esfuerzo se iguala con la expresión de Euler, el valor de la relación de esbeltez en este límite superior; puede determinarse para cualquier acero en particular. A este valor se le denomina C_c , la relación de esbeltez que divide el pandeo elástico y el inelástico, se determina en consecuencia como sigue:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} F_y &= \pi^2 E / (KI/r)^2 \\ &= \pi^2 E / C_c^2 \\ C_c &= \sqrt{(2 \pi^2 E / F_y)} \end{aligned}$$

La literatura de Ingeniería está llena de fórmulas desarrolladas para columnas en condiciones ideales, pero que en la práctica no se encuentran. Consecuentemente, el diseño práctico de columnas se basa primordialmente en fórmulas que se han desarrollado para ajustarse, con exactitud razonable, a las curvas resultantes de las pruebas.

El esfuerzo admisible (F_a), para miembros a compresión con una relación de esbeltez (KL/r), no mayor a 120 el AISC hace uso de la fórmula parabólica desarrollada por J.B. Johnson para miembros primarios y secundarios, expresada de la siguiente forma:

$$F_a = 17,000 - 0.485 (KL/r)^2$$

Para miembros secundarios con relación de esbeltez (KL/r), con un rango de 121 a 200, las especificaciones del AISC utilizan la fórmula de *Ranking* :

$$F_a = 18,000 / [1 + (K^2L^2 / 18,000 r^2)]$$

Para miembros principales con relación de esbeltez (KL/r), con un rango de 121 a 200, las especificaciones del AISC utilizan la fórmula de *Ranking* :

$$F_a = 18,000 / [1 + (K^2L^2 / 18,000 r^2)] \times [1.6 - (KL / 200 r)]$$

Los valores del esfuerzo admisible (F_a), para los tres casos anteriores, que son las fórmulas a utilizar para diseño de miembros a compresión, pueden obtenerse de las especificaciones AISC, cuyos valores aparecen tabulados en la sección de “Esfuerzos admisibles por pulgada cuadrada para miembros a compresión”.

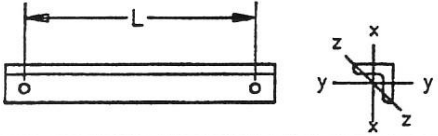
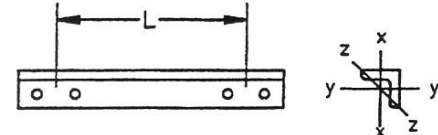
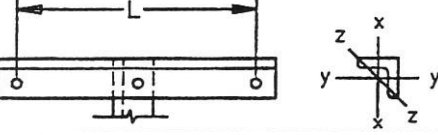
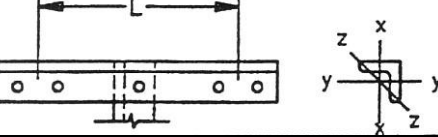
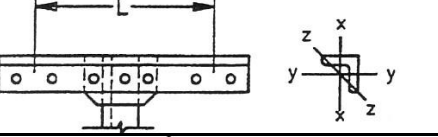
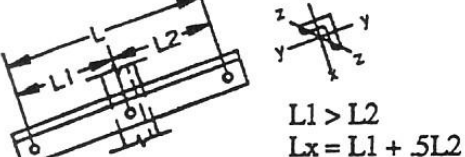
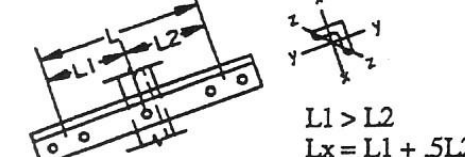
Los valores en mención se obtienen a partir de la relación de esbeltez (KL/r), donde K es el factor de corrección de longitud y se toma a partir de las curvas de la tabla IV, según de los parámetros de conexiones dados en las tablas V y VI para miembros principales y secundarios respectivamente.

Tabla V. Relación de esbeltez para elementos principales

Miembros a compresión para ángulos simples					
Efectos de esbeltez para miembros principales					
Embreizado simétrico					
	<p style="text-align: center;">Relación de esbeltez crítica</p> <p style="text-align: center;">L / R_z</p> <p style="text-align: center;">Relación de esbeltez efectiva</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">$L/R_z \leq 120$</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">$L/R_z > 120$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Curva 1</td> <td style="text-align: center;">Curva 4</td> </tr> </table>	$L/R_z \leq 120$	$L/R_z > 120$	Curva 1	Curva 4
$L/R_z \leq 120$	$L/R_z > 120$				
Curva 1	Curva 4				
Embreizado asimétrico					
	<p style="text-align: center;">Relación de esbeltez crítica</p> <p style="text-align: center;">$L/R_x, L/R_y, \text{ Ó } [(1 + 2n) / 3] L / R_z$</p> <p style="text-align: center;">Relación de esbeltez efectiva</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">$L/R \text{ MAX} \leq 120$</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">$L/R \text{ MAX} > 120$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Curva 1</td> <td style="text-align: center;">Curva 4</td> </tr> </table>	$L/R \text{ MAX} \leq 120$	$L/R \text{ MAX} > 120$	Curva 1	Curva 4
$L/R \text{ MAX} \leq 120$	$L/R \text{ MAX} > 120$				
Curva 1	Curva 4				
<p>Nota: para miembros principales, la longitud L, debe ser igual al espaciamiento medido a lo largo del eje del miembro principal</p>					

Fuente: TIA / EIA – 222 - F

Tabla VI. Relación de esbeltez para elementos secundarios

Ángulos simples a compresión		
Relaciones de esbeltez para miembros secundarios		
DETERMINACION DE LA LONGITUD EFECTIVA L		
	Relación de esbeltez crítica: L/Rz Relación de esbeltez efectiva : $L/Rz \leq 120$ $L/Rz > 120$ Curva 3 Curva 4	
	Relación de esbeltez crítica: L/Rz Relación de esbeltez efectiva: $L/Rz \leq 120$ $L/Rz > 120$ Curva 3 Curva 6	
	Relación de esbeltez crítica: L/Rx ó $.5L/Rz$ Relación de esbeltez efectiva: $L/R \text{ MAX} \leq 120$ $L/R \text{ MAX} > 120$ Curva 3 Curva 4	
	Relación de esbeltez crítica: L/Rx ó $.5L/Rz$ Relación de esbeltez efectiva: $L/R \text{ MAX} \leq 120$ $L/Rx > 120$ $.5L/Rz > 120$ Curva 3 Curva 6 Curva 5	
	Relación de esbeltez crítica: L/Rx ó $.5L/Rz$ Relación de esbeltez efectiva: $L/R \text{ MAX} \leq 120$ $L/R \text{ MAX} > 120$ Curva 3 Curva 6	
 <p>$L1 > L2$ $Lx = L1 + .5L2$</p>	Relación de esbeltez crítica: Lx/Rx ó $L1/Rz$ Relación de esbeltez efectiva: $L/R \text{ MAX} \leq 120$ $L/R \text{ MAX} > 120$ Curva 2 Curva 4	
 <p>$L1 > L2$ $Lx = L1 + .5L2$</p>	Relación de esbeltez crítica: Lx/Rx ó $L1/Rz$ Relación de esbeltez efectiva: $L/R \text{ MAX} \leq 120$ $Lx/Rx > 120$ $L1/Rz > 120$ Curva 2 Curva 6 Curva 5	

Nota: para miembros secundarios con soldaduras o dos o más pernos para conexión, la longitud L, no debe ser menor que la distancia entre el centroide de la conexión a cada unión.
 Los detalles apropiados para las conexiones soldadas deben ser consideradas como restricciones parciales.

Fuente: TIA / EIA – 222 - F

Cuando la relación de esbeltez (KL/r), da valores mayores a la constante C_c , el esfuerzo admisible (F_a) lo se tomarà como $12 \pi^2 E / 23 (KL/r)^2$

Ejemplos:

Si se supone que se necesita saber las capacidades a compresión de los siguientes elementos :

El elemento p11ap del grupo p11a de la torre de ejemplo de la sección 2.1, dicho elemento posee las siguientes características:

montante tubular de diámetro 5": $A = 4.3$ pulgadas ², $r = 1.88$ pulgadas., $L = 78.75$ pulgadas, $F_y = 50$ ksi, $K = 1$ según tabla IV

Solución

Al revisar la esbeltez L/r a partir de la tabla V para diagonales simétricas, se tiene, $(78.75 \text{ pulgadas}) / 1.88 \text{ pulgadas} = 43 < 150$ ok, a su vez es posible observar que dicho valor está comprendido dentro de la Curva 1, donde $K = 1$ de acuerdo a tabla 3.1.

De tablas de AISC se tiene que para $KL/r = 43$, corresponde $F_a = 25.46$ ksi, a partir de la fórmula $C = A (F_a)$, obtenemos

$$C = (4.3 \text{ pulgadas}^2) (25.46 \text{ kip/ pulgadas}^2) = 109.464 \text{ Kip}$$

El elemento b16ap del grupo b6a de la torre del ejemplo de la sección 2.1, dicho elemento posee las siguientes características:

sección angular de 2 “ x 2” x 3/16”: $A = 0.71$ pulgadas ², $r_{\min} = 0.62$ pulgadas, $L = 66.78$ pulgadas, $F_y = 36$ ksi, $K = 1$ (tabla IV)

Solución

Al revisar la relación de esbeltez KL/r , se tiene

$$(1) (66.78 \text{ pulgadas}) / 0.62 \text{ pulgadas} = 108 < 300 \text{ ok}$$

De tablas de AISC se tiene que para $KL/r = 108$, está $F_a = 11.54$ ksi a partir de la fórmula P compresión = $A (F_a)$, se obtiene

$$P_{\text{compresión}} = (0.71 \text{ pulgadas}^2) (11.54 \text{ kip/ pulgadas}^2) = 8.194 \text{ Kip}$$

3.3. Traslapes o uniones

En la fase de construcción, para llevar a cabo el montaje de la torre es necesario realizar varias y distintas uniones entre miembros estructurales. Para realizar satisfactoriamente dichas uniones, el diseñador se auxilia de dos herramientas. La soldadura de arco y el uso de pernos, se realizan en fábrica y campo respectivamente.

Cuando la torre requiere de diagonales tipo angular cuyas longitudes exceden los 6.00 m. es posible realizar uniones con soldaduras y con pernos. Mientras que en uniones de montantes tubulares con elementos de conexión, (placas de unión para diagonales y placas de unión entre montantes), la soldadura es la opción recomendable por sus múltiples ventajas.

Por otro lado, cuando es necesario unir diagonales con los miembros principales, se utilizan pernos, para tener uniones tipo articulación, y con esto volver la estructura flexible y así reducir los momentos en dichas uniones.

Lo mismo sucede en las uniones de miembros principales de torres con sección cuadrada, cuyos elementos generalmente son secciones angulares.

3.3.1. Conexiones atornilladas

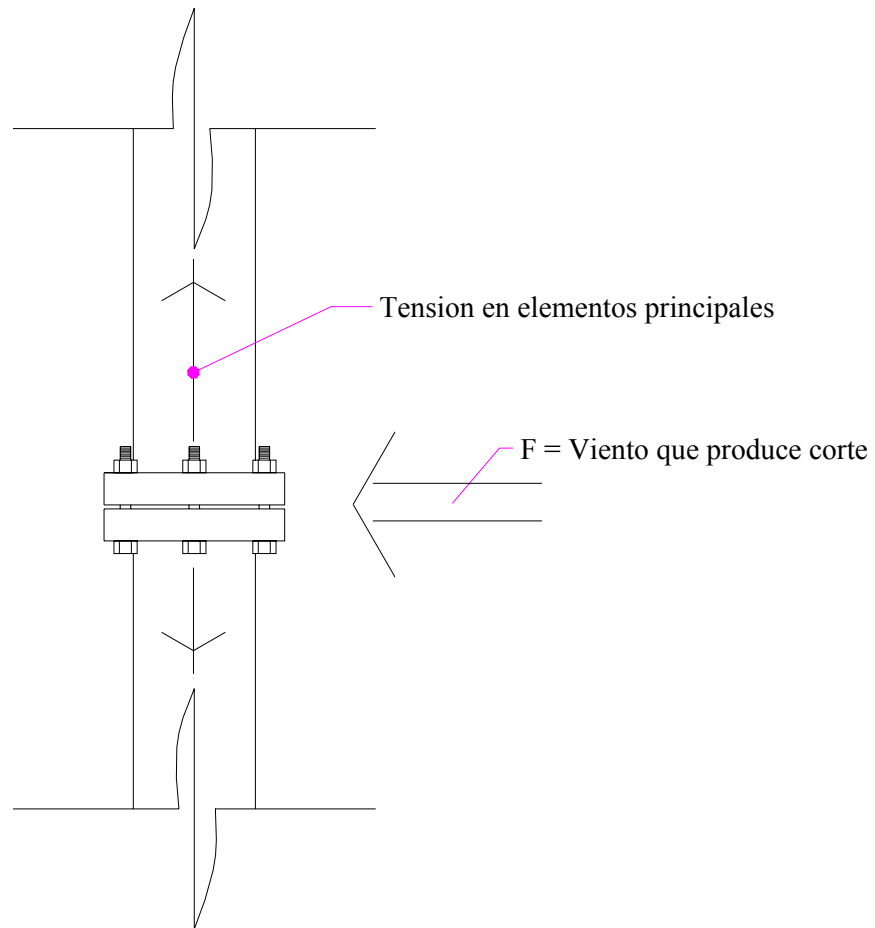
El montaje de la estructura por medio de tornillos, es un proceso que además de ser muy rápido requiere de mano de obra menos calificada.

Existen distintos tipos de tornillos que pueden utilizarse para conectar miembros de acero estructural, incluyen los tornillos para máquinas, los tornillos maquinados, tornillos estriados y los tornillos de alta resistencia. Estos últimos son los utilizados para uniones estructurales.

Los pernos de alta resistencia se fabrican bajo normas ASTM del tipo A325. El material utilizado para su producción es acero al medio carbón que obtiene su resistencia del tratamiento térmico, templado y revenido. Su esfuerzo de tensión permisible es de 20,000 psi. y 15,000 psi. a corte, en uniones tipo fricción según normas AISC.

Los tornillos para conexiones de miembros deben ser diseñados para soportar esfuerzos de corte en las uniones de diagonales y angulares en general, como se describe en la sección 1.5.1, y esfuerzos de tensión y corte simultáneamente en las uniones entre dos montantes circulares. (Ver figura 24).

Figura 24. **Esfuerzos de corte y tensión simultáneos en pernos**



En las juntas los pernos de alta resistencia deben ser ajustados a la tensión mínima de estos, siguiendo las especificaciones AISC del 13 de Noviembre de 1,985, "*Structural joints specification for bolt A325*", en estos casos no es necesario utilizar contratuerca.

Al ser ajustados los pernos de acuerdo a estas especificaciones, proporcionan una alta y útil sujeción, por lo tanto es razonable considerar que las cargas en una junta atornillada son también transferidas por fricción. Ya que se puede dar una tensión casi uniforme en los tornillos al momento de instalarlos, es posible obtener una resistencia al corte uniforme al usarlos.

Los ensayos de laboratorio muestran que hay muy poca posibilidad de que ocurra deslizamiento entre las uniones, si la fuerza de corte calculada es mayor que el 50% de la tensión del tornillo. Esto significa que en las conexiones tipo fricción usual, empleadas en empalmes de diagonales, los tornillos no están sujetos a esfuerzos de corte, sin embargo el AISC da una fuerza de corte permisible para tornillos tal, que las dimensiones de los mismos deben diseñarse como si estos actuaran a corte simple.

El esfuerzo de corte de los pernos en este tipo de uniones se obtiene de la siguiente expresión:

$$F_v = T/Ab$$

Ab es el área de la sección transversal del perno utilizado, y T la carga axial a tensión del elemento.

Por otro lado los pernos utilizados para las uniones de los montantes, apretados fuertemente preesfuerzan contra la tensión las juntas en las cuales son utilizados, comprimiendo así las placas de unión. La ubicación de los pernos en éstas últimas debe ser en forma simétrica en ambos sentidos, para controlar de mejor manera las excentricidades de las cargas; como mínimo deben utilizarse cuatro.

Si se aplica una carga de tensión a esta conexión en la superficie de contacto, no podrá ejercer ninguna carga adicional en los tornillos hasta que los miembros comiencen a ser separados, sometiendo a esfuerzos adicionales a los tornillos. Los miembros no pueden ser separados hasta que la carga que se aplique sea mayor que la tensión total en los conectores de la junta.

Al reconocer el efecto de preesfuerzo de los tornillos de alta resistencia, el AISC permite cargas calculadas de tensión independientemente de las fuerzas de apriete, iguales al doble del esfuerzo permisible de tensión, dado en las especificaciones.

Para tornillos A325 usados en dichas juntas (sometidos a tensión y corte simultáneamente), el AISC no permite que los esfuerzos de corte ocasionados excedan el valor dado por la siguiente expresión:

$$F_v \text{ permisible} = 15,000 [1 - (F_t A_b / T_b)]$$

Donde F_t es el esfuerzo de tensión debido a la carga aplicada, y ésta es

$$F_t = T / A_b < 40,000 \text{ psi}$$

al sustituir en F_v se obtiene

$$F_v \text{ permisible} = 15,000 [1 - (T / T_b)]$$

A_b es el área total de la sección de los tornillos y T_b es la tensión mínima del tornillo según las normas de AISC

Ejemplo

- Calcular la cantidad de pernos con diámetro de 3/4" y área transversal de 0.44 pulgadas² requerida para satisfacer la unión de los elementos p7e y p8a del ejemplo de la sección 2.1, ambos montantes circulares de 2.5" y 3" de diámetro respectivamente. La tensión en dicho miembro es de 5.026 kips. La fuerza de corte es de 1,118 kips.

Solución:

Al calcular el área requerida para un esfuerzo de tensión permisible de 40,000 psi, se tiene

$$\begin{aligned} A_b &= T / F_t \\ &= 5.026 \text{ ksi} / 20 \text{ kpsi} \end{aligned}$$

$$A_b = 2.513 \text{ pulgadas}^2$$

La cantidad de pernos requeridos es de $2.513 \text{ pulgadas}^2 / 0.44 \text{ pulgadas}^2 = 5.7$, es decir 6 pernos.

Al calcular el área requerida para satisfacer el esfuerzo de corte permisible

$$F_v \text{ permisible} = 15,000 [1 - (T/T_b)]$$

$$F_v \text{ permisible} = 15,000 [1 - (5.026/39)]$$

$$F_v \text{ permisible} = 13,067 \text{ psi.}$$

Y el F_v actuante es de $F_v = P_c / A_b$

$$F_v = 1,118 \text{ psi} / (0.44 \text{ pulgadas}^2) (6) = 423.48 \text{ psi} < 13,067 \text{ psi}$$

Por lo tanto 6 pernos de diámetro de 3/4" satisfacen para esfuerzos de corte y tensión combinados en dicha unión.

3.3.2. Conexiones soldadas

El uso de uniones mediante soldaduras presenta ventajas y desventajas.

- Las estructuras soldadas permiten eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalmes, así como la eliminación de las cabezas de tornillos (ahorro en el peso total de la estructura).
- La soldadura tiene una zona de aplicación mucho mayor que el uso de pernos de alta resistencia. Por ejemplo en los empalmes de los montantes circulares con las placas y planchas de unión.
- Las estructuras soldadas son más rígidas, porque los miembros normalmente están soldados directamente uno a otro. Así mismo esta rigidez puede ser una desventaja donde se necesitan conexiones externas simples con baja resistencia a los momentos, como lo son las uniones en los nudos.
- Se usan menos piezas, lo que da como resultado ahorro en tiempo en detalle, fabricación y montaje en la obra.
- Las soldaduras se realizan en fábrica, mientras que colocación de pernos se efectúa en campo.
- Para la colocación de pernos se requiere mano de obra menos calificadas.

Aunque se dispone de soldadura con gas y de soldadura con arco, casi toda la soldadura estructural es de arco.

La soldadura eléctrica o de arco, como su nombre lo indica, forma un arco eléctrico entre las piezas que se sueldan y el electrodo sostenido por el operador, o por una máquina eléctrica cuando la soldadura es de cordón. El arco es una chispa continua, que parte del electrodo a las piezas que se sueldan, lo cual provoca la fusión.

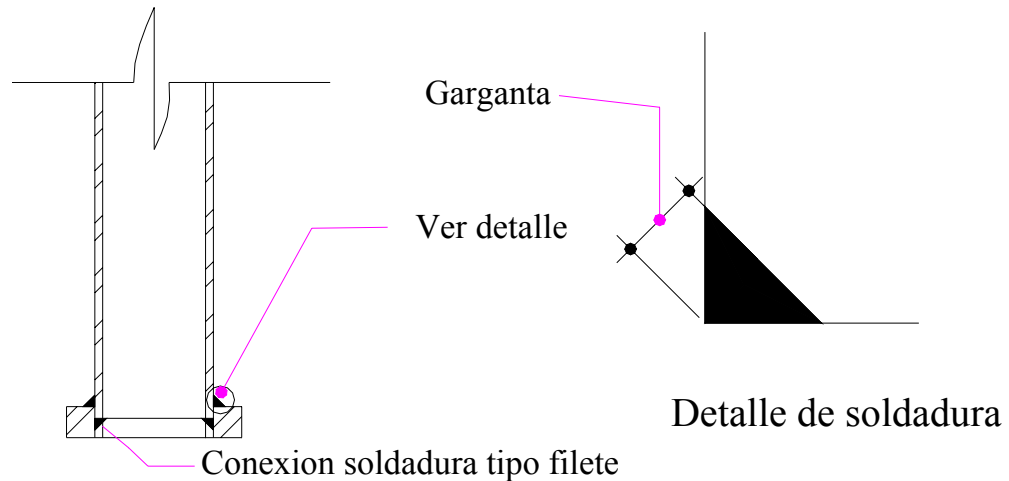
Según normas AISC, debe usarse un electrodo respetando “ *Specification for iron and steel arc-welding electrodes*” de “*American Welding Association*”.

Para nuestro medio entre las soldaduras más comunes y a su vez cumplen con las normas AISC, se encuentra la soldadura tipo E6020 y la soldadura punto café, ambas satisfacen, los requerimientos, como para la de cordón con un diámetro de 0.45 milímetros.

Para torres de telecomunicaciones, generalmente se utiliza la soldadura de cordón, ya que ésta permite realizar una unión que deja menos escoria y a su vez es más exacta que la de electrodo, con acabados más estéticos.

Los tipos de aplicaciones de soldaduras utilizados en torres para telecomunicaciones son las soldaduras de filete y soldaduras a tope. Las soldaduras de filete se realizan en las uniones de elementos principales o montantes con placas y planchas de unión; se disponen en forma horizontal y perimetral en ambos lados, (ver figura 25). Mientras que las soldaduras a tope se utilizan en uniones de diagonales, como se describió en la sección 1.5.1.

Figura 25. **Detalle de soldadura tipo filete**



Las soldaduras de filete han mostrado ser más débiles que las soldaduras a tope; sin embargo, la mayoría de las conexiones se realizan con soldadura de filete, debido a su mayor campo de aplicación.

Las pruebas han mostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes en soldaduras de filete que establecen en las especificaciones para soldaduras son esfuerzos de corte.

Cuando las soldaduras de filete se prueban a la ruptura, fallan por corte en ángulos de aproximadamente 45° a través de la garganta. Su resistencia por consiguiente, se supone igual al esfuerzo de corte permisible por el área teórica de la garganta de la soldadura.

El grueso teórico de la garganta de las soldaduras de filete utilizadas se muestra en la figura 25, el grueso de la garganta es de 0.707 veces el tamaño de la soldadura.

El esfuerzo permisible de corte para el electrodo E6020 es de 18,000 libras/pulgadas², que equivalen a 1,265 kg/cm².

En las soldaduras a tope, cuando la penetración es completa, y las soldaduras están sometidas a esfuerzos de tensión axial o compresión axial, el esfuerzo en la soldadura se supone igual a la carga dividida entre el área transversal neta de la soldadura (garganta). Por dicha razón siempre es necesario realizar una soldadura con abundancia de material.

Las soldaduras a tope son llamadas de 100 %, 125 %, 150 %, etc. según sea el espesor extra en la soldadura. Sus esfuerzos permisibles de tensión y compresión paralelos y perpendiculares a la garganta, son los mismos valores que los del material base. Su esfuerzo de corte permisible es equivalente al del material soldado.

Como se mencionó en la sección 1.5.1 las soldaduras a tope deben diseñarse para soportar un valor equivalente al 125 %, del esfuerzo permisible del material base.

Ejemplo:

Diseñar la unión por medio de soldadura eléctrica del elemento b16ap del grupo b6a de la torre del ejemplo 1, dicho elemento posee las siguientes características:

sección angular de 2 “ x 2” x 3/16”: $A = 0.71$ pulgadas ², $F_y = 36$ ksi, $K = 1$, dicho elemento tiene una capacidad a tensión de 167.53 kips.

Solución

La soldadura debe diseñarse para soportar el 125 % de la capacidad del elemento. En otras palabras el espesor de la garganta debe ser 3/16” por 1.25. Esto significa que la garganta debe tener un ancho de 0.234”.

3.4. Anclaje a bases

Al igual que los pernos que se utilizan para uniones entre montantes, los pernos de anclaje también están sujetos a esfuerzos de corte y de tensión. La diferencia entre estos, es que los segundos están sujetos a cimentación, debido a un esfuerzo de adherencia que provoca el anclaje en ellos.

La resistencia de adherencia es el resultado de la combinación de varios parámetros, tales como la adhesión mutua entre el concreto y la superficie de contacto del acero y la presión que ejerce el concreto endurecido en el perno, debido a la contracción del concreto al fraguar.

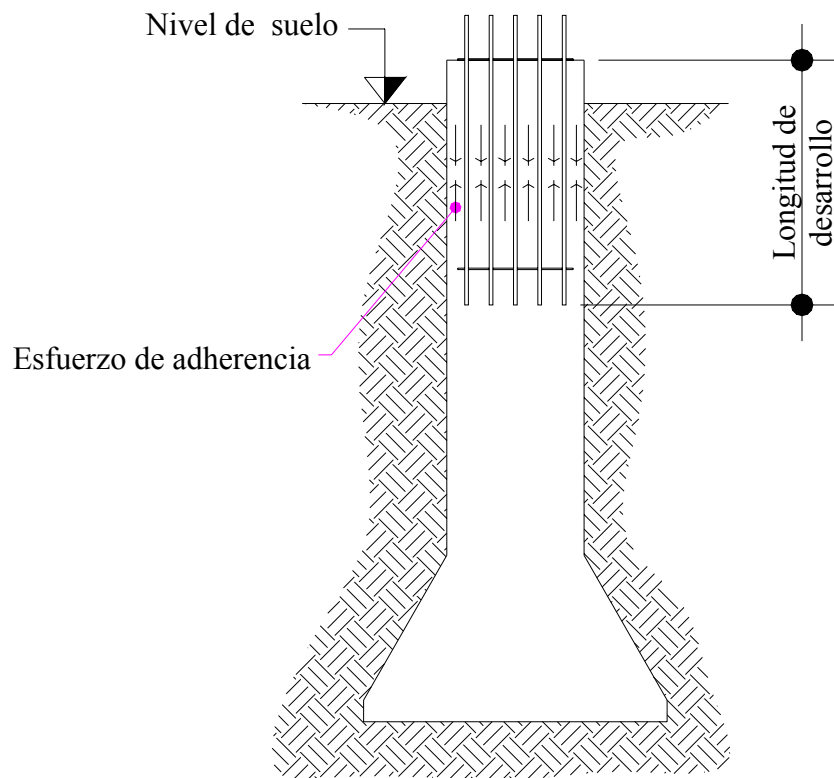
Además, la calidad y resistencia del concreto a la tensión y la compresión, la fricción que resiste al deslizamiento y la trabazón que se produce cuando el perno es sujeto a esfuerzo de tensión. También el efecto del anclaje mecánico que se obtiene en los extremos de los pernos por medio de la longitud de desarrollo. El diámetro de los pernos y la separación de los mismos .

El esfuerzo de adherencia se presenta principalmente como consecuencia de la fuerza cortante, entre el perno y el concreto que lo envuelve, originada por los factores indicados anteriormente y se puede describir como un esfuerzo local de cortante por unidad de área de la superficie de la varilla.

Este esfuerzo directo se transfiere del concreto a la superficie en contacto de la barra, de modo que modifica el esfuerzo de tensión a lo largo del perno.

Los pernos tienen una longitud efectiva necesaria para alcanzar el esfuerzo de adherencia que debe haber entre las superficies de contacto. A esta longitud se le denomina longitud de desarrollo, (ver figura 26).

Figura 26. Detalle anclaje a base o cimiento



El perno de anclaje debe deformarse en la misma medida que el concreto que la rodea, con el objeto de evitar la separación de los dos materiales cuando están sujetos a la acción de las cargas.

Cuando la resistencia al deslizamiento en la longitud de desarrollo, (l_d), es mayor que la resistencia del concreto a tensión, se forma una grieta en esa zona y alrededor de la grieta se desarrolla una distribución de nuevos esfuerzos. Por consiguiente, es importante escoger una longitud apropiada de los pernos para disminuir el agrietamiento y el deslizamiento.

Para evitar cargas excéntricas de valores considerables, los pernos de anclaje al igual que los pernos en las uniones de los montantes deberán distribuirse de forma simétrica en los dos ejes, y en un mínimo de 4 cuatro.

CONCLUSIONES

1. Las torres autoportadas de sección triangular poseen el área superficial necesaria para la ubicación de equipos, ocupan un área relativamente reducida para la ubicación de la misma y la materia prima requerida para su fabricación es menor que la utilizada para una torre de sección cuadrada o un monopolo, lo que hace una diferencia económica. Por estas razones, las torres autoportadas de sección triangular son las de mayor demanda para uso en la telefonía celular.
2. Las torres de telefonía celular son estructuras esbeltas, con uniones articuladas, flexible y ligera. La carga lateral inducida por un sismo equivale más o menos a un 25 % de la fuerza ejercida por la presión y la velocidad del viento; por dicha razón la carga en mención no se considera importante en el análisis.
3. La condición de viento que más interesa para el diseño de la estructura es principalmente, la de una tormenta de viento, específicamente ráfagas de viento con alta velocidad, medidas a 10 m su equivalente a 33 pies de altura sobre el nivel de la superficie del suelo. Estos vientos se asocian por lo general con tornados o huracanes.
4. Todo el análisis y diseño de la estructura de la torre y de los elementos que la conforman puede realizarse de acuerdo a normas y especificaciones ASTM, AISC y TIA / EIA – 222 – F.

5. Cuando el diseño se efectúa para una torre ubicada en un valle debe utilizarse el método de velocidad uniforme de viento. Si la estructura será instalada en un área despejada, como en una planicie o una región cercana a la costa, entonces se emplea el método de diseño básico de viento.
6. En el diseño de diagonales, generalmente se utilizan perfiles de sección angular, ya que presentan mayor facilidad de ensamblaje en la fase de construcción y mayor resistencia a la flexión con respecto a una diagonal tipo tubo de sección circular. Son utilizados los angulares de lados iguales, ya que su radio de giro es de más grande para la misma área de uno de lados desiguales y con esto su relación de esbeltez.
7. En torres que requieran el uso de diagonales de longitudes considerables, puede utilizarse diagonales dobles con el fin de reducir la relación de esbeltez de dichos elementos; esto permite el uso de perfiles más ligeros.
8. Por su amplio campo de aplicación, las soldaduras tipo filete son las de mayor uso en la unión de piezas y elementos que conforman la estructura de una torre para telefonía celular.
9. El diseño de todo elemento, debe realizarse independientemente para soportar cargas axiales a tensión y compresión, éste último es el crítico.
10. Las acciones que se generan en las piezas que llegan a la cimentación son de alta tensión y alta compresión, por lo tanto la cimentación que se elija deberá soportarlas considerando esta condición.

RECOMENDACIONES

1. Las uniones de elementos con soldaduras deben realizarse en fábrica, mientras que las uniones que usan pernos de alta resistencia deben efectuarse en obra.
2. Para el análisis y diseño estructural de una torre para telefonía celular, el diseñador debe apoyarse en el uso de un programa de computadoras para cálculo estructural.
3. Debe evitarse en lo posible el uso de torres autosoportadas tipo monopolo, a menos que el área disponible no lo permita; ya que este tipo de estructuras presenta desventajas económicas y la superficie disponible para su implementación es reducida.
4. Cuando el diseño requiere de diagonales de longitud y sección de área considerable, se debe hacer uso de redundantes para reducir la relación de esbeltez y el peso de la misma.
5. El diseño se debe realizar empleando perfiles de acero de grado 36 y 50, ya que dichos materiales son accesibles en nuestro medio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ambroses, James y Dimitry Vergun. **Diseño simplificado de edificios para cargas de viento y sismo**. 2ª. Edición en español. México: Editorial Limusa, 1999.
2. “American Institute of Steel Consturction”. **“Steel construction”**. 3a. | edición. E.E.U.U. 2003.
3. Beer, Ferdinand y Russell Johnston. **Mecánica vectorial para ingenieros, estática**. 6ª. Edición en español. México: Editorial McGraw Hill. 1996.
4. “Engineer’s Dictionary, spanish-english and english-spanish”. 2a. edición. E.E.U.U.: Editorial Wiley.
5. McCormac, Jack. **Diseño de estructuras metálicas**. México: Editorial Electrocomp. 1987.
6. Nawy, Edward. **Concreto reforzado, un enfoque básico**. 1ª. Edición en español. México: Editorial Prentice may. 1998.
7. Norris, Charles y John Wilbur. **Análisis elemental de estructuras**. 2ª.Edición en español. España: Editorial McGraw Hill. 1969.
8. Singer, Ferdindad y Andrew Pytel. **Resistencia de materials**. 4ª. edición en español. México: Editorial Harla. 1994.
9. “TIA/EIA Standard”. **“Structural standards for steel antenna tower and antenna supporting estructuras”**. E.E.U.U.: Editorial “Global Engineering Documents”. 1996.
10. “Power line system inc.” **Software de computadoras para análisis y diseño de torres de transmisión**. E.E.U.U. 2004.

APÈNDICE

Figura 28. Coeficientes de fuerza

e	Cfc	Cft
0,02	3,8836	3,3074
0,04	3,7704	3,2174
0,06	3,6604	3,1302
0,08	3,5536	3,0458
0,1	3,45	2,964
0,12	3,3496	2,885
0,14	3,2524	2,8086
0,16	3,1584	2,735
0,18	3,0676	2,6642
0,2	2,98	2,596
0,25	2,775	2,4375
0,3	2,59	2,296
0,35	2,425	2,1715
0,4	2,28	2,064
0,5	2,05	1,9
0,6	1,9	1,804
0,75	1,825	1,7875
1	2,1	2,1

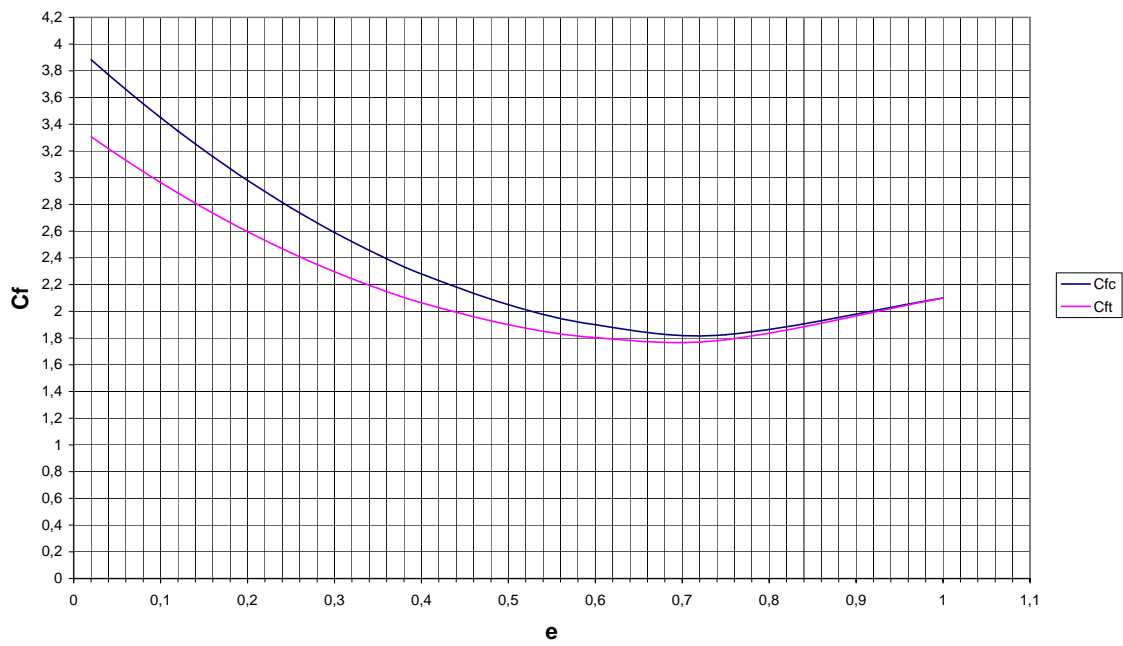


Figura 29. Presiones por velocidades de viento

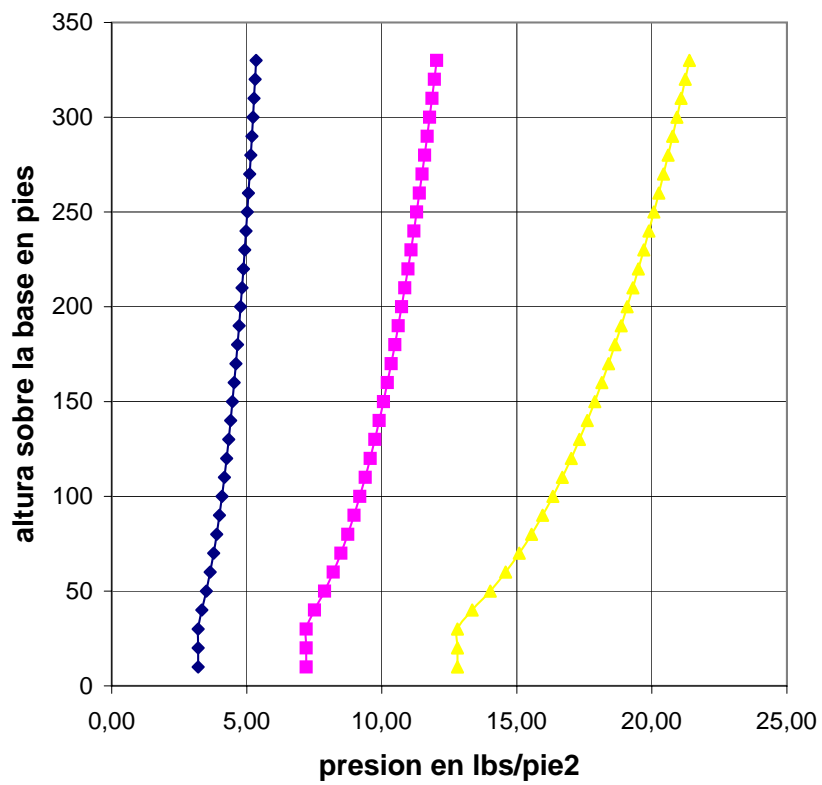


Tabla VII. Valores de Kz y Qz para distintas velocidades de viento en millas por hora

Velocidad Altura	KZ	Velocidad Altura	100 QZ	150 QZ	200 QZ
10	1,00000	10,00000	25,60000	57,60000	102,40000
20	1,00000	20,00000	25,60000	57,60000	102,40000
30	1,00000	30,00000	25,60000	57,60000	102,40000
40	1,05650	40,00000	27,04645	60,85451	108,18580
50	1,12605	50,00000	28,82696	64,86066	115,30784
60	1,18627	60,00000	30,36841	68,32892	121,47364
70	1,23968	70,00000	31,73582	71,40559	126,94328
80	1,28789	80,00000	32,96999	74,18248	131,87997
90	1,33197	90,00000	34,09839	76,72137	136,39355
100	1,37267	100,00000	35,14046	79,06603	140,56183
110	1,41057	110,00000	36,11053	81,24870	144,44213
120	1,44607	120,00000	37,01951	83,29389	148,07803
130	1,47953	130,00000	37,87587	85,22071	151,50349
140	1,51119	140,00000	38,68640	87,04439	154,74559
150	1,54127	150,00000	39,45656	88,77726	157,82623
160	1,56996	160,00000	40,19087	90,42946	160,76348
170	1,59739	170,00000	40,89309	92,00946	163,57237
180	1,62369	180,00000	41,56640	93,52440	166,26560
190	1,64896	190,00000	42,21349	94,98036	168,85397
200	1,67331	200,00000	42,83670	96,38257	171,34679
210	1,69680	210,00000	43,43802	97,73556	173,75210
220	1,71950	220,00000	44,01923	99,04327	176,07693
230	1,74148	230,00000	44,58186	100,30919	178,32746
240	1,76278	240,00000	45,12728	101,53639	180,50914
250	1,78347	250,00000	45,65670	102,72758	182,62682
260	1,80356	260,00000	46,17121	103,88521	184,68483
270	1,82312	270,00000	46,67176	105,01147	186,68705
280	1,84216	280,00000	47,15925	106,10830	188,63698
290	1,86072	290,00000	47,63445	107,17751	190,53779
300	1,87883	300,00000	48,09808	108,22069	192,39233
310	1,89652	310,00000	48,55081	109,23932	194,20323
320	1,91380	320,00000	48,99322	110,23474	195,97288
330	1,93070	330,00000	49,42586	111,20819	197,70345
340	1,94724	340,00000	49,84924	112,16079	199,39695
350	1,96343	350,00000	50,26381	113,09358	201,05525