BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

GUÍA PARA ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA TORRES DE TELECOMUNICACIÓN

TESINA

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN ESTRUCTURAS

Presenta:
JOSÉ RAMÓN CAMARENA CERVANTES

Director de tesina:
M.I. MARTÍN CASTILLO FLORES

Co-director de tesina:
M.I. DOMINGO RODRÍGUEZ FLORES

PUEBLA, PUE. DICIEMBRE, 2018

BUAP

Oficio No. 3841/2018

C. José Ramón Camarena Cervantes
Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Estructuras
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesina, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Guía para análisis y diseño estructural para torres de telecomunicación.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras. Asignándose como Director al M.I. Martín Castillo Flores y Co-director al M.I. Domingo Rodríguez Flores.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Zaragoza, noviembre 22 de 2018.

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. Martín Castillo Flores y Domingo Rodríguez Flores, Director y Co-director del tema de tesina.

C.c.p. Archivo

ABH/MCF/sco*

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

H. Puebla de Zaragoza, a 23 de noviembre de 2018

M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

P R E S E N T E

El suscrito, M.I. Martín Castillo Flores, Director de la tesina denominada **Guía para análisis y diseño estructural para torres de telecomunicación**, presentada por **José Ramón Camarena Cervantes**, candidato a Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras con matricula **215470341**, me permito informar a usted, que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Para los efectos académicos que haya lugar, quedo de Usted.

Atentamente

M.I. Martín Castillo Flores

Director de tesina

C.c.p. Archivo

C.c.p. Interesado

Agradecimientos.

A Dios por haberme permitido llegar a este punto en mis estudios.

A mis padres, Gloria y José, que siempre me han apoyado en cada decisión, gracias por sus consejos y ese amor incondicional.

A mis hermanos, en especial a mi hermano Pedro que me ha enseñado el verdadero valor y nunca retroceder ante la adversidad.

Agradezco a él M. en I. Martín Castillo por dirigir mi tesis, compartir su conocimiento y tiempo, así como brindar su completo apoyo para culminar este trabajo.

A la Benemérita Universidad Autónoma De Puebla, por permitirme ser parte de ella y formarme como profesionista.

A todos mis amigos ya que sin su apoyo no podría estar aquí.

José Ramón Camarena Cervantes

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO 1. Las telecomunicaciones en México. 3

1.1 Tipos de torres de telecomunicación. 4

1.1.1 Torres Auto soportadas. 4

1.1.2 Torres atirantadas o arriostradas. 5

1.1.3 Torres monopolo. 7

Capítulo 2. Fuerzas de viento para estructuras auto soportadas. 8

2.1. Consideraciones principales de las normas mexicanas. 8

2.2 Clasificación de la estructura según su importancia. 9

2.3 Clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción de viento. 10

2.4. Acciones del viento que deben considerarse. 11

2.5. Velocidad básica de diseño. 12

2.5.1 Categoría del terreno. 13

2.5.2 Velocidad regional. 14

2.5.3 Mapas de isotacas. 15

2.5.4 Factor de exposición, Frz. 17

2.5.5. Factor de topografía, Ft. 18

2.5.6. Presión dinámica en la base, $\boldsymbol{qz}$. 21

2.5.7. Presión actuante sobre estructuras, $\boldsymbol{pz}$ 22

2.6 Fuerza actuante en estructuras. 23

2.7 Análisis Estático 24

2.8 Análisis Dinámico. 25

2.8.1 Determinación de la velocidad media, $\boldsymbol{V'D}$ 27

2.8.2 Factor de exposición para la velocidad media, $\boldsymbol{F'rz}$ 27

2.8.3. Presión Actuante sobre Estructuras, $\boldsymbol{Pz}$. 28

2.8.4 Factor de amplificación dinámica, $\boldsymbol{FAD}$ 29

2.8.5 Fuerza dinámica equivalente en la dirección del viento, $\boldsymbol{Feq}$ 30

Capítulo 3. Normas estructurales de empresas dedicadas a las telecomunicaciones. 31

3.1 Normas Telesites 31

3.1.1 generalidad de torres. 31

3.1.2 Materiales. 33
3.1.3. fabricación 34
3.1.4. Diseño estructural. 38
3.1.4.1 Cargas primarias y combinaciones. 38
3.1.4.2 Diseño de conexiones. 39
3.1.4.2 Diseño de cimentaciones. 39
3.1.4.3 Revisión al Estado Límite de Servicio. 43
3.2 Normas American Tower Company. 43
3.2.1 Materiales. 45
3.2.2 Parámetros de análisis y diseño de torre 48
3.2.3 Consideraciones en el Análisis 50
3.2.3.1 Apoyos 50
3.2.3.2 Cargas 50
3.2.4 Combinaciones de Carga. 51
3.2.5. Revisión de desplazamientos. 52
3.2.6. Revisión de conexiones. 52
3.2.7. Revisión de Cimentación. 53
Capítulo 4. Caso de estudio, análisis de torre de telecomunicación Sitio Ensenada 47 metros de altura. 54
4.1 Descripción del proyecto. 54
4.2 Análisis Dinámico por viento 57
4.3 Análisis estructural por sismo. 161
4.4 Diseño estructural. 166
4.4.1 Revisión por desplazamiento. 166
CONCLUSIONES. 168
ANEXOS 171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1.1 Torre Auto Soportada. 5
Figura 1.1.2.1 Torre arriostrada 6
Figura 1.1.3.1 Torre monopolo. 7
Figura 2.1.1 Procedimiento diseño por viento 9
Figura 2.5.3.1 Mapas de isotacas periodo de retorno 10 años, manual de obras civiles CFE 2008. 15
Figura 2.5.3.2 Mapas de isotacas periodo de retorno 50 años, manual de obras civiles CFE 2008. 16
Figura 2.5.3.3 Mapas de isotacas periodo de retorno 200 años, manual de obras civiles CFE 2008. ... 16
Figura 2.5.5.1 Donde muestra terraplenes, a lo largo de distancia L2, la pendiente no excederá de 0.05 20
Figura 2.5.5.2 Donde muestra terraplenes, a lo largo de distancia L2, la pendiente puede ser mayor que 0.45 21
Figura 2.8.1 Procedimiento para análisis dinámico. 26
Figura 3.1.4.2.1 Diseño de cimentaciones 42
Figura 4.1.1 Torre Ensenada 47 metros de altura 54
Figura 4.1.2 Imagen de torre ensenada 56
Figura 4.1.3 Torre cuadrada y triangular 60
Figura 4.1.4 Asignación de cargas muertas (antenas) 64
Figura 4.1.5 Asignación de cargas vivas 65
Figura 4.1.6 Fuente de masa considerada. 66
Figura 4.1.7 Características dinámicas de torre de Telecomunicación 66
Figura 4.1.8 Relación de solidez para torres de telecomunicación. 75
Figura 4.1.9 Tramo 1 77
Figura 4.1.10 Geometría tramo 1 78
Figura 4.1.11 Carga de viento en tramo 1 82
Figura 4.1.12 Carga de viento en nodos tramo 1 83
Figura 4.1.13 Tramo 2 84
Figura 4.1.14 Geometría tramo 2 85
Figura 4.1.15 Carga de viento en tramo 2 89
Figura 4.1.16 Carga de viento en nodos tramo 2 90
Figura 4.1.17 Tramo 3 91

Figura 4.1.18 Geometría tramo 3 92
Figura 4.1.19 Carga de viento en tramo 3 96
Figura 4.1.20 Carga de viento en nodos tramo 3..... 97
Figura 4.1.21 Tramo 4 98
Figura 4.1.22 Geometría tramo 4 99
Figura 4.1.23 Carga de viento en tramo 4 103
Figura 4.1.24 Carga de viento en nodos tramo 4..... 104
Figura 4.1.25 Tramo 5 105
Figura 4.1.26 Geometría tramo 5 106
Figura 4.1.27 Carga de viento en tramo 5 110
Figura 4.1.28 Carga de viento en nodos tramo 5..... 111
Figura 4.1.29 Tramo 6 112
Figura 4.1.30 Geometría tramo 6 114
Figura 4.1.31 Carga de viento en tramo 6 118
Figura 4.1.32 Carga de viento en nodos tramo 6..... 119
Figura 4.1.33 Tramo 7 120
Figura 4.1.34 Geometría tramo 7 122
Figura 4.1.35 Carga de viento en tramo 7 126
Figura 4.1.36 Carga de viento en nodos tramo 7..... 127
Figura 4.1.37 Tramo 8 128
Figura 4.1.38 Geometría tramo 8 130
Figura 4.1.39 Carga de viento en tramo 8 136
Figura 4.1.40 Carga de viento en nodos tramo 8..... 137
Figura 4.1.41 Carga de viento tramos de antena..... 138
Figura 4.1.42 Ubicación de antenas en torre..... 144
Figura 4.1.43 Fuerzas de viento en tramos y de antenas. 161
Figura 4.1.44 localización del sitio. 162
Figura 4.1.45 Espectro de respuesta de Prodisis para el municipio de Ensenada. 163
Figura 4.1.46 Espectro de diseño de Prodisis para el municipio de Ensenada. 164
Figura 4.1.47 Imagen de desplazamientos en corona de torre 167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.5.1.1 Categoría del terreno según su rugosidad de manual de obras civiles CFE 2008. 13

Tabla 2.5.5.1 Factor de topografía local, Ft, de manual de obras civiles CFE 2008. 18

Tabla 2.8.2.1 Valores para factor de exposición medio. 28

Tabla 3.1.2.1 Propiedades mecánicas de los materiales solicitados por Telesites. 34

Tabla 3.1.3.1 Torque sugerido para tornillos Tipo A-325 por parte de Telesites. 36

Tabla 3.2.4.1 Combinaciones de carga American Tower Company 51

Tabla 4.1.1 Parametros proporcionados por American Tower Company 57

Tabla 4.2.1 Relación entre la altitud y la presión barométrica utilizada por el manual de obras civiles diseño por viento CFE 2008. 58

Tabla 4.2.2 Valores para factor de exposición medio. 61

Tabla 4.2.3 Valores de las constantes. đ, Z0(m), Zmin(m), ᾶ. 62

Tabla 4.2.4 Tabla proporcionada por American Tower Company, indicando alturas tipos y dimensiones de antenas. 63

Tabla 4.2.5 Tabla indicando peso total de estructura, necesaria para la masa generalizada. 67

Tabla 4.2.6 Valores para factor de exposición medio. 70

Tablas referenciadas anteriormente 73

Tabla 4.2.7 Coeficiente de arrastre torres de celosía, Manual de obras civiles de diseño por viento CFE 2008. 76

Tabla referenciada anteriormente 79

Tabla 4.2.8 valores de $\alpha, \delta, c.$, Manual de obras civiles diseño por viento CFE. 81

Tabla 4.2.9 Resumen de resultados por tramos para análisis de torre. 131

Tabla 4.2.10 Antenas Instaladas en Torre Ensenada. 139

Tabla 4.2.11 Coeficientes de arrastre para antenas de telecomunicación. 142

Tabla 4.2.12 cortantes basales generados por la acción del viento. 164

Tabla 4.2.13 Cortantes basales generados por la acción del sismo. 165

Tabla 4.2.14 Combinaciones de diseño. 166

INTRODUCCIÓN.

Las torres de telecomunicaciones juegan un papel cada vez más importante en el desarrollo de México. Estas torres se utilizan como soporte de las antenas encargadas de trasmitir las señales de televisión, telefonía celular y radio. El desarrollo que han tenido estos servicios en los últimos 50 años, ratifica la importancia de estas estructuras en todo el ámbito de la sociedad.

Las torres de telecomunicaciones se pueden catalogar en atirantadas o auto soportadas. Las atirantadas o arriostradas presentan cables sujetos a apoyos y anclados al suelo, que garantizan su estabilidad estructural y son generalmente de sección constante. Las auto soportadas no requieren de ningún elemento adicional para lograr su estabilidad estructural y funcionan frente a la acción de cargas horizontales, como una viga en voladizo. Estas torres generalmente se ubican en sitios muy expuestos a la acción del viento, lo que sumado a sus características de ligereza y esbeltez las convierte en estructuras vulnerables ante la acción del viento, provocando en muchas ocasiones su salida de funcionamiento.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realiza el análisis de una torre de Telecomunicación auto soportada ante los efectos del viento y sismo. Para la caracterización del viento se empleó el Manual de Obras Civiles de Diseño por Viento (CFE, 2008) de la Comisión Federal de Electricidad. El caso de estudio será una torre auto soportada de 47 metros de altura, el proyecto fue solicitado por la empresa American Tower Company.

CAPITULO 1. Las telecomunicaciones en México.

Desde el inicio del telegrama hasta los servicios de banda ancha de hoy en día, la telecomunicación no ha sido interrumpida significativamente. El primer servicio de telégrafo fue entre la ciudad de México y Nopalucan, Puebla en 1951, desde ese momento las telecomunicaciones en México han estado íntimamente ligado con el desarrollo económico y político del país.

El primer contacto telefónico se realizó el 13 de marzo de 1878 entre la ciudad de México y la población de Tlalpan, a partir de ese momento se convierte en una especie de competencia para establecer el servicio telefónico.

Las estructuras utilizadas en las telecomunicaciones sirven para la transmisión de energía eléctrica, así como la transmisión de señales, como es el caso de los teléfonos celulares, estas estructuras deben soportar diversos dispositivos, como antenas de transmisión y accesorios propios de la torre, como escalera y accesorios de seguridad, generalmente estas estructuras son ligeras y flexibles, donde generalmente los efectos del viento son los dominantes al hacer el análisis y diseño.

1.1 Tipos de torres de telecomunicación.

Su estructuración puede variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se quieran colocar, entre las estructuras más comunes se encuentran las torres arriostradas (con tirantes), torres auto soportadas (caso de estudio) y monopolos, las alturas de estas dependen de la altura requerida para suministrar la transmisión de datos correcta.

1.1.1 Torres Auto soportadas.

Son las torres más rígidas y las menos sensibles a la torsión. Por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie, de igual manera se puede estar obligado a su utilización cuando la superficie del terreno no permita el arriostramiento de cables. Su sección puede ser cuadrada o triangular, como su nombre lo dice auto soportan su propio peso y las cargas adicionales, básicamente su diseño estructural considera como cargas: el peso propio de la estructura el peso de las antenas, los accesorios de antenas y accesorios de seguridad, este tipo de torres son las más eficientes por su geometría, es posible el uso de torres esbeltas de sección constante como también formas piramidales.

Figura 1.1.1.1 Torre Auto Soportada.

1.1.2 Torres atirantadas o arriostradas.

Estas estructuras se instalan por lo general en las azoteas de los inmuebles, pudiéndose colocar también en el suelo, si el espacio disponible lo permite ya que requiere grandes claros por la posición de las retenidas (cables), estas estructuras son de sección triangular en planta y en elevación son de sección constante, para su estabilidad debe de tener 3 o 4 retenidas.

Muchas veces se requieren instalar antenas celulares en puntos específicos o regiones, por lo que se recurre a construir torres arriostradas sobre edificaciones existentes. Estas torres cuentan generalmente de tirantes o arriostres a diferentes distancias. El peso que

genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, las reacciones que se generan por la torre es solamente compresión y tensión no generan momentos flectores en columnas del inmueble, así como las retenidas solo causan tensión, por lo que no le adiciona mucho peso a la edificación; sin embargo, se debe de colocar el apoyo de las torres y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes.

Figura 1.1.2.1 Torre arriostrada

1.1.3 Torres monopolo.

Su estructura consiste en tubos de sección circular o poligonal, en elevación puede ser de sección constante o cónica. Se utilizan para sitios en terreno natural y cuando el espacio disponible para la torre no es muy grande, ya que la cimentación de este tipo de torres es más pequeña que la requerida para torres auto soportadas. Las ventajas de elegir este tipo de torre es su peso ligero, poco requisito de espacio y bajo costo de instalación y que se pueden camuflajear como árboles, lo que resulta más estético para las zonas turísticas.

Figura 1.1.3.1 Torre monopolo.

Capítulo 2. Fuerzas de viento para estructuras auto soportadas.

2.1. Consideraciones principales de las normas mexicanas.

En México existen varios reglamentos para análisis y diseño los principales son las normas técnicas completarías de la ciudad de México y el manual de obras civiles (CFE), para este trabajo se utilizarán únicamente las normas del manual de obras civiles por diseño por viento ya que se considera que es el documento más completo.

En resumen, el procedimiento sugerido por el manual para diseño por viento de la CFE, se presenta en la figura 2.1.1.

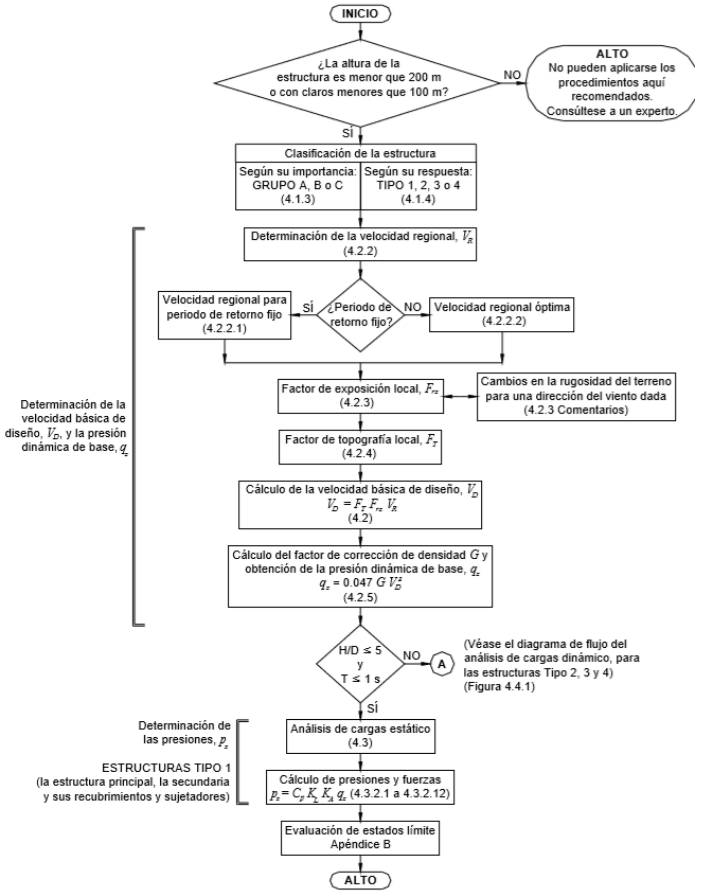


Figura 2.1.1 Procedimiento diseño por viento

2.2 Clasificación de la estructura según su importancia.

Según el nivel de importancia dado a cada estructura, se clasifican en los siguientes niveles.

Grupo A: estructuras con un grado de seguridad elevado. Se incluyen en este aquellas cuya falla cause la pérdida de un número importante de vidas o perdidas, perdidas económicas y culturales muy altas. Algunos ejemplos de este tipo de construcciones son áreas de reunión con capacidad mayor a doscientas personas, museos, templos, estadios e **inmuebles de telecomunicación**, así como escuelas y hospitales por mencionar algunos.

Grupo B. Estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad moderado, son aquellas que si fallan generan baja pérdida de vidas humanas y que los daños materiales son de magnitud intermedia. Algunos ejemplos de estas estructuras son: Plantas industriales, casas habitación, viviendas, edificios de departamentos, hoteles, salas de reunión y espectáculos.

Grupo C: estructuras para las que se recomiendan un grado de seguridad bajo. Son aquellas cuya falla no implica consecuencias graves, abarcan estructuras o elementos temporales con vida útil menor a tres meses.

2.3 Clasificación de las estructuras según su respuesta ante la acción de viento.

Por las características del comportamiento de las estructuras a los efectos dinámicos del viento, las construcciones se clasifican en cuatro tipos.

Tipo 1: Estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, su relación de esbeltez, λ es definida como la relación entre la altura y la dimensión menor en planta es menor o igual a 5, y su primer modo de vibrar es mayor que el segundo. En este grupo se concentran la mayoría de los edificios para habitación u oficinas, bodegas, naves industriales teatros y auditorios.

Tipo 2: Estructuras que, por su alta relación de esbeltez o las dimensiones reducidas de su sección transversal, son sensibles a la turbulencia del viento y tienen periodos naturales que favorecen a las oscilaciones por la acción del viento. En este tipo se incluyen los edificios con relación de esbeltez, **λ,** mayor que cinco o con periodo fundamental mayor que un segundo. En este grupo se encuentran las torres de celosía atirantadas, chimeneas, tanque elevados, torres de telecomunicación y las construcciones que presentan una pequeña dimensión paralela a la dirección del viento.

Tipo 3: Estas estructuras presentan las mismas características de las del tipo 2 y además presentan oscilaciones importantes transversales al flujo de viento al aparecer vórtices o remolinos periódicos que interactúan con la estructura.

Tipo 4: estructuras que por su forma y dimensiones o por la magnitud de sus periodos de vibración (periodos naturales mayores a un segundo), presentan problemas aerodinámicos inestables, algunos ejemplos de este tipo son las líneas de transmisión, las tuberías colgantes antenas parabólicas.

2.4. Acciones del viento que deben considerarse.

Acción I Empujes medios: Son causados por presiones y succiones del flujo medio del viento, tanto exteriores como interiores y generan presiones globales. Se consideran que estos empujes son estáticos.

Acción II Vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento: Son Fuerzas variables, paralelas el flujo medio, causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye en la respuesta estructural.

ACCIÓN III Vibraciones transversales al flujo y torsión. La presencia de estructuras cilíndricas o prismáticas dentro del flujo del viento, genera el desprendimiento de vórtices alternantes que provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo.

ACCIÓN IV Inestabilidad aerodinámica. Es generada por la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por: la geometría de la construcción, los distintos ángulos de incidencia del viento, las propiedades dinámicas de la estructura y el cambio de amortiguamiento aerodinámico.

2.5. Velocidad básica de diseño.

El viento es el termino general que se usa para describir al aire que se encuentra en movimiento debido a causas naturales. Además de los vientos normales, algunas regiones están sujetas a vientos especialmente fuertes como son los huracanes y específicamente en las costas.

El Cálculo de la velocidad básica de diseño depende de la topografía de la zona (Ft), de las características de la exposición local (Frz), y de la velocidad regional (Vr).

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

2.5.1 Categoría del terreno.

Las categorías del terreno se definen en función de su rugosidad. Si las obstrucciones son grandes y numerosas se dice que la superficie es rugosa, si por el contrario las obstrucciones son pequeñas y muy espaciadas, entonces la superficie se considera lisa o suave. Un suelo rugoso producirá una mayor turbulencia en el viento, mientras que uno liso no genera turbulencias en las capas bajas de la atmosfera.

Tanto en el procedimiento de análisis estático como en el dinámico que es el caso de las torres de telecomunicación, existen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición en donde se desplantara la construcción. Por lo cual para evaluar de forma práctica es necesario establecer clasificaciones.

CATEGIORIA	DESCRIPCION	EJEMPLOS	LIMITACIONES
1	Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua	Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción.

Tabla 2.5.1.1 Categoría del terreno según su rugosidad de manual de obras civiles CFE 2008.

2.5.2 Velocidad regional.

Dentro de la ingeniería el análisis por viento en el diseño estructural es muy complejo, por tratarse de un fenómeno aleatorio que para su descripción requiere conocimientos estadísticos y complicados, lo cual dificulta su entendimiento. En el análisis y diseño de estructuras se deben considerar las fuerzas horizontales, dentro de estas se pueden considerar las fuerzas generadas por viento y sismos. Ambas fuerzas son difíciles de cuantificar dado que son consecuencias de fenómenos naturales complejos e incontrolables por el hombre.

Los efectos que pueden producirse por vientos fuertes generalmente son por huracanes u otros fenómenos meteorológicos.

La velocidad regional de ráfaga de viento, es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno, T, en años, en una zona o región determinada en el país, esta se determina tomando en consideración tanto la importancia de la estructura como la localización geográfica de su sitio de desplante.

2.5.3 Mapas de isotacas.

Los mapas de isotacas están hechos mediante un análisis probabilístico y esto permite establecer una mejor estimación del peligro por viento en México, con la finalidad de mejorar la seguridad estructural.

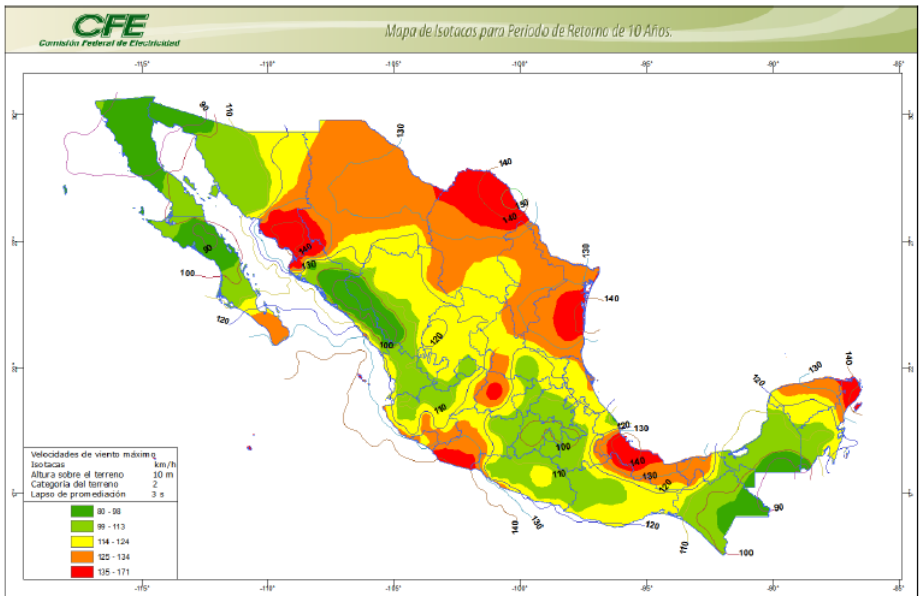


Figura 2.5.3.1 Mapas de isotacas periodo de retorno 10 años, manual de obras civiles CFE 2008.

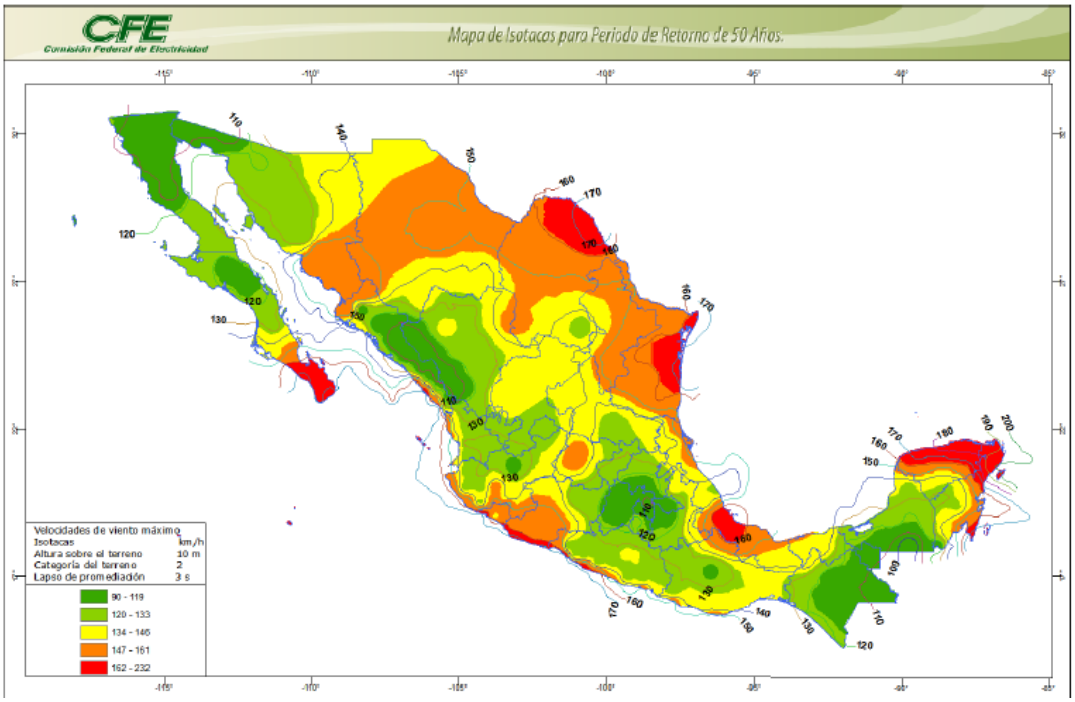


Figura 2.5.3.2 Mapas de isotacas periodo de retorno 50 años, manual de obras civiles CFE 2008.

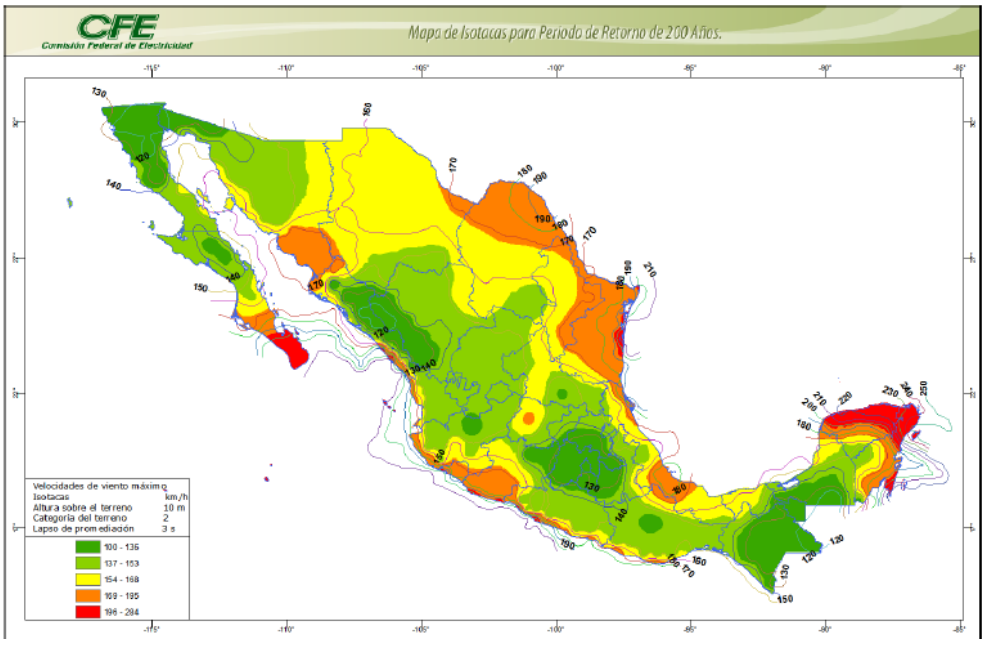


Figura 2.5.3.3 Mapas de isotacas periodo de retorno 200 años, manual de obras civiles CFE 2008.

2.5.4 Factor de exposición, Frz.

Este factor establece la variación de la velocidad del viento con la altura, y está en función a la categoría del terreno. Este factor se obtiene de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10 \quad Formula\ 4.2.3$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta\ Formula\ 4.2.4$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta\ Formula\ 4.2.5$$

Las fórmulas anteriores están enumeradas de acuerdo a manual de obras civiles CFE diseño por viento 2008

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

2.5.5. Factor de topografía, Ft.

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplante la estructura y a su vez la variación de la rugosidad de los alrededores del sitio.

Sitios	Ejemplos de topografía local	FT
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes	1
Expuestos	Promotiorios: montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas	vease las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8) de manual de obras civiles diseño por viento cfe 2008
	Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	

Tabla 2.5.5.1 Factor de topografía local, Ft, de manual de obras civiles CFE 2008.

Para los efectos locales de promontorios y terraplenes, el factor de topografía se calcula de acuerdo con las siguientes condiciones.

a) Si $\frac{H_t}{2L_u}$ < 0.05, dentro de la zona achurada de afectación local (véanse las Figuras 4.2.6(a) y 4.2.6(b)).

$= 1.00\ {}_T F$ (4.2.6)

b) Si 0.05 ≤ $\frac{H_t}{2L_u}$ ≤ 0.45, Dentro de la zona achurada de afectación local (véanse las Figuras 4.2.6(a) y 4.2.6(b)).

$$F_T = 1 + \left[\frac{H_t}{3.5(Z_t + L_1}\right]\left(1 - \frac{|X_t|}{L_2}\right)$$

c) Si $\frac{H_t}{2L_u}$ > 0.45, Dentro de la de separación del flujo, Ls=Ht/4 (véanse las Figuras 4.2.6(c)).

$$F_T = 1 + \left[\frac{H_t}{3.5(Z_t + L_1}\right]\left(1 - \frac{|X_t|}{L_2}\right)$$

dentro de la zona achurada de afectación local (véase la Figura 4.2.6(c)), aplíquese la ecuación 4.2.7.

Las variables que intervienen en los casos anteriores se definen como:

H_t la altura del promontorio o terraplén, medida verticalmente desde el inicio de la cuesta hasta la cresta, en m,

L_u la distancia horizontal en barlovento medida desde $H_t/2$ hasta la cresta del promontorio o terraplén, en m,

X_t la distancia horizontal en barlovento o sotavento, medida entre la estructura y la cresta del promontorio o terraplén (obsérvese que puede tener valor positivo o negativo), en m,

L_1 la escala longitudinal para determinar la variación vertical de F_T, se toma el valor mayor entre 0.36 L_u y 0.4 H_t, en m,

L_2 la escala longitudinal para determinar la variación horizontal de F_T, se toma igual a 4 L_1 para promontorio o terraplén en barlovento e igual a 10 L_1 para terraplenes en sotavento, en m, y

z_t la altura de referencia de la estructura medida desde el nivel promedio del terreno, en m, esta altura puede ser la altura total de la estructura, H, o la altura promedio del techo inclinado de la construcción, $\bar{h}$.

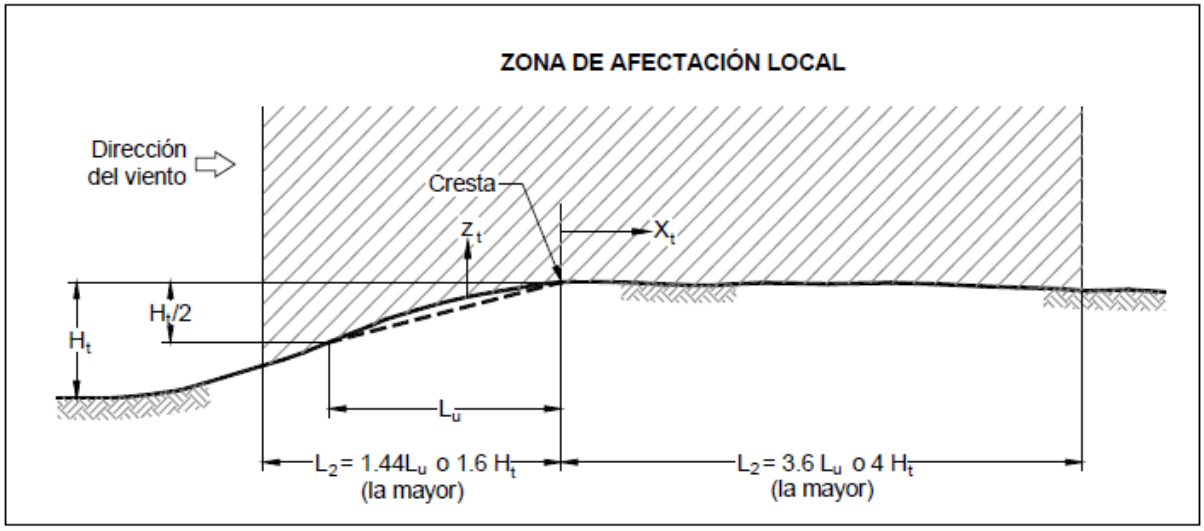


Figura 2.5.5.1 Donde muestra terraplenes, a lo largo de distancia L2, la pendiente no excederá de 0.05

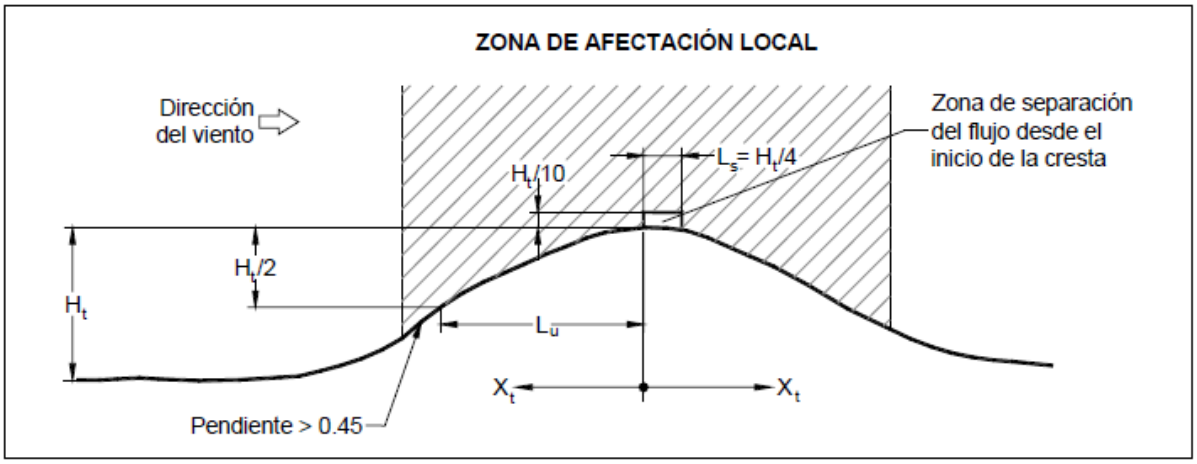


Figura 2.5.5.2 Donde muestra terraplenes, a lo largo de distancia L2, la pendiente puede ser mayor que 0.45

2.5.6. Presión dinámica en la base, qz.

Cuando el viento actúa sobre una construcción, genera presiones sobre sus superficies, que varían según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a esta se denomina presión dinámica de base, y se determina con la siguiente ecuación.

$$q_z = 0.0048 G V_D^2 \text{ (formula 4.2.9)} \quad \text{(kg/m2)}$$

En donde:

$V_D =$ Es la velocidad básica de diseño, en km/h.

$q_z =$ Es la presión dinámica en la base a una altura z sobre el nivel del terreno.

G =El factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar, adimensional.

El valor de G se obtiene con la siguiente expresión.

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \text{ (adimensional) (Formula 4.2.10)}$$

Ω = Es la presión barométrica, en mm de Hg.

τ = la temperatura ambiental, en °C.

2.5.7. Presión actuante sobre estructuras, pz.

La presión actuante sobre una construcción determinada, se obtiene tomando en cuenta principalmente su forma y está dada, de manera general, por la ecuación:

$$p_z = C_p q_z \quad (4.2.11)$$

en donde al coeficiente C_p es el coeficiente de presión y es adimensional.

A esta presión se le denomina empuje medio o estático y es producido por los efectos de la velocidad de ráfaga.

El coeficiente de presión se define como el cociente de una diferencia de presiones a la presión dinámica de base, para una altura dada. Este coeficiente depende de la geometría de la estructura.

2.6 Fuerza actuante en estructuras.

La respuesta estructural, ante la acción del viento, depende de las propiedades dinámicas de la construcción y puede dividirse en tres tipos diferentes:

- Respuesta estática, ocurre en estructuras no sensibles a efectos dinámicos con frecuencias naturales de vibración considerablemente mayores que el intervalo de frecuencias de la turbulencia.
- Respuesta dinámica, ocurre en estructuras sensibles a los efectos dinámicos, con una o más frecuencias naturales dentro del intervalo de las frecuencias de la turbulencia.
- Respuesta Aero elástica, ocurre cuando la respuesta estructural interactúa con la generación de las cargas del viento, produciendo fenómenos de inestabilidad Aero elástica.

En las recomendaciones del manual de obras civiles CFE por viento, las fuerzas producidas por la interacción del viento y la respuesta estructural, se determinarán considerando solo la respuesta estática o la dinámica.

La fuerza estática se calculará con la siguiente expresión:

$$F_{es} = \sum \left(q_z C_p A_{ref} \right) \ (4.2.12) manual\ de\ obras\ civiles\ CFE\ 2008$$

en donde:

q_z es la presión dinámica de base, sobre una superficie de referencia A_{ref}, a una altura z,

C_p el coeficiente de presión, adimensional, actuando sobre una construcción o un área de ésta, y

A_{ref} el área de referencia, en m2, sobre la que actúa la presión.

En el caso de la respuesta dinámica, las fuerzas dinámicas que se generan se evalúan mediante una fuerza equivalente, F_{eq}, que se obtiene al multiplicar la fuerza estática, F_{es}, por el Factor de Amplificación Dinámica, F_{AD}.

$$F_{eq} = F_{es}F_{AD} \quad (4.2.13) manual\ de\ obras\ civiles\ CFE\ 2008$$

2.7 Análisis Estático.

El análisis estático se aplica en el diseño de construcciones y elementos estructurales pertenecientes al Tipo 1, así como de los elementos de recubrimiento y sus anclajes que se emplean en las construcciones Tipos 1, 2 y 3, cuando estas estructuras o elementos de recubrimiento sean poco sensibles a la acción turbulenta del viento. Esta condición se satisface cuando:

- la relación H/D <= 5, en donde H es la altura de la construcción y D es la dimensión mínima de la base.
- Cuando el periodo fundamental de la estructura es menor o igual que un segundo.

Para el caso de construcciones cerradas, techos aislados y toldos y cubiertas adyacentes, no es necesario calcular su periodo fundamental cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- La altura de la construcción, H, es menor o igual que 15 metros,
- La estructura no está expuesta extraordinariamente en ninguna dirección del viento, es decir no se encuentra en un promontorio o terraplén.
- La planta de la estructura es rectangular o formada por una combinación de rectángulos.
- la relación H/D es menor que cuatro para construcciones cerradas y menor que uno para techos aislados, toldos y cubiertas adyacentes en voladizo; el claro no debe ser mayor que 5 m,
- para construcciones cerradas y techos aislados, la pendiente de sus techos inclinados o a dos aguas- no debe exceder los 20°, y en techos de claros múltiples deberá ser menor que 60°; para toldos y cubiertas adyacentes, la pendiente no será mayor que 5°.

2.8 Análisis Dinámico.

El análisis dinámico se emplea para evaluar la acción resultante de la interacción dinámica entre el flujo del viento y las estructuras pertenecientes a los Tipos 2 y 3.
El procedimiento de análisis dinámico que se presenta en este inciso, se aplicará para calcular las cargas equivalentes por viento que actúan sobre las estructuras sensibles a los efectos dinámicos producidos por la turbulencia del viento.

Si el periodo de la estructura es mayor que cinco segundos, este procedimiento no es aplicable y deberá consultarse a un experto en la materia. En particular, este método deberá emplearse en el diseño de las estructuras que

cumplan con alguna de las siguientes condiciones:

- La relación H/D > 5, en donde H es la altura de la construcción y D la dimensión mínima de la base, ambas en m, o
- El periodo fundamental de la estructura es mayor que un segundo y menor o igual que cinco segundos.

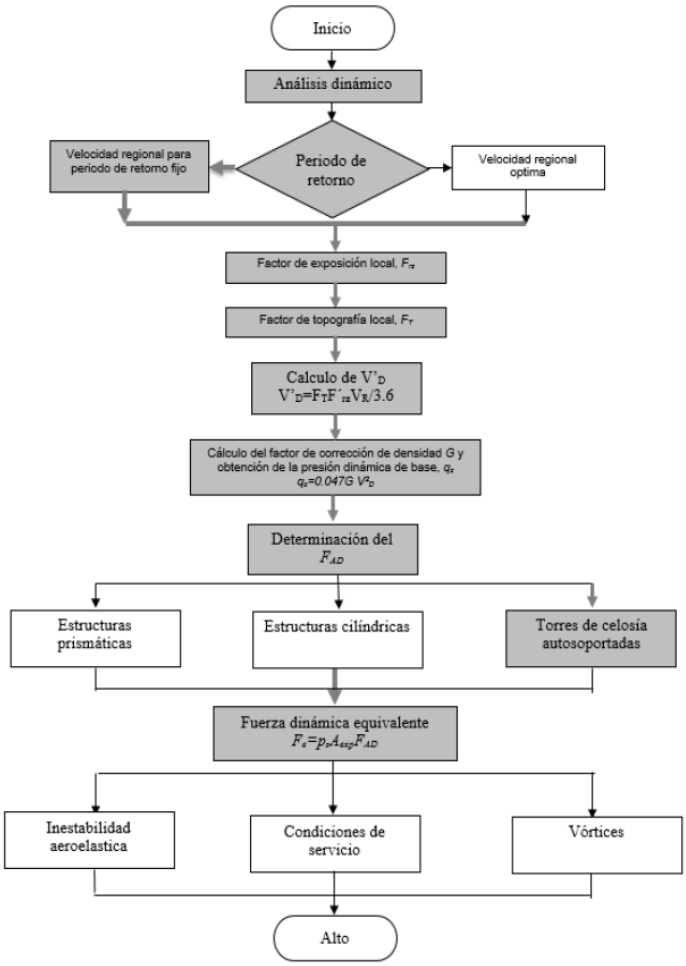


Figura 2.8.1 Procedimiento para análisis dinámico.

2.8.1 Determinación de la velocidad media, $V'D$

Se define como la velocidad media, a un tiempo de promedio de diez minutos y se aplicará para determinar el factor de respuesta dinámica y en los problemas de aparición de vórtices e inestabilidad aerodinámica. Esta velocidad media se determinará con la expresión:

$$V_D' = \frac{F_T F_{rz}' V_R}{3.6} \text{ (Formula 4.4.1)} \left(\frac{km}{hr}\right)$$

En donde:

V_R =Es la velocidad regional de ráfaga de viento en Km/h, (106.5 km/hr)

F_T =Factor de topografía del lugar, (adimensional)

F_{rz}' =Factor de exposición para la velocidad media.

2.8.2 Factor de exposición para la velocidad media, $F'rz$

El factor de exposición, considera el efecto combinado de las características de rugosidad local y de la variación de la velocidad con la altura; se define como:

$$F_{rz}' = 0.702\text{b} \quad \text{sí z<=10 (Formula 4.4.2.a)}$$

$$F_{rz}' = 0.702\text{b}\left(\frac{Z}{10}\right)^{\tilde{\alpha}} \quad \text{sí 10<z<=200 (Formula 4.4.2.b)}$$

Categoría	ƀ	ά
1	1.17	0.12
2	1	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Tabla 2.8.2.1 Valores para factor de exposición medio.

en donde:

z es la altura medida a partir del nivel medio del terreno, en la cual se desea calcular la velocidad media del viento.

$б$ un coeficiente, adimensional, que se obtiene de la Tabla anterior

α El exponente, adimensional, de la variación de la velocidad con la altura, para cada categoría de rugosidad del terreno; corresponde a un intervalo de premediación de diez minutos. Cuando la altura sea mayor que 200 m, deberán realizarse otros estudios específicos avalados por expertos en la materia.

2.8.3. Presión Actuante sobre Estructuras, Pz.

La presión actuante sobre la estructura, p_z, en Pa, se obtiene con la ecuación:

$$p_z = C_p q_z$$

en donde:

C_p es el coeficiente de presión, adimensional.

q_z la presión dinámica de base, a una altura z sobre el nivel del terreno

2.8.4 Factor de amplificación dinámica, F_{AD}

Para fines de este manual, este factor de respuesta dinámica se ha denominado simplemente Factor de Amplificación Dinámica (FAD). Este factor depende de manera importante de las propiedades dinámicas de los diferentes tipos de estructuras.

El factor de amplificación dinámica, F_{AD}, para torres de celosía auto soportadas se calcula con la ecuación:

$$F_{AD} = \frac{1+2I_v(z_s)k_p\sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_v(z_s)}\left[\frac{C_{RG}}{C_G}\right]F_M \text{(Formula 4.2.21)}$$

Donde:

B^2 = El factor de respuesta de fondo (adimensional).

$I_v(z_s)$ =Indice de turbulencia a una altura de referencia z_s, en (metros)

R^2 = El factor de respuesta en resonancia (adimensional).

k_p= Factor pico (adimensional).

$C_{RG}\ y\ C_G$=Constantes correctivas de la forma modal (adimensionales).

F_M =Factor de corrector de la masa (adimensional).

z_s = La altura de referencia, este valor es igual a la altura de la torre (en metros).

2.8.5 Fuerza dinámica equivalente en la dirección del viento, Feq

Para el viento que actúa sobre cualquier cara de la torre, la fuerza de arrastre de diseño deberá calcularse con la siguiente ecuación:

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{ref} F_{AD} \quad \text{(Formula 4.4.20)}$$

en donde:

Feq	Es la fuerza de dinámica equivalente, que actúa paralelamente a la dirección del viento y es variable con la altura,
qz	La presión dinámica de base del viento a la altura z,
Cat	El coeficiente de arrastre, en la dirección del flujo del viento,
$Aref$	El área de todos los miembros de la cara frontal, a una altura z, proyectada en un plano vertical perpendicular a la dirección del viento, en m2, y
FAD	El factor de amplificación dinámica, adimensional.

Capítulo 3. Normas estructurales de empresas dedicadas a las telecomunicaciones.

3.1 Normas Telesites

3.1.1 generalidad de torres.

Una estación de Radio base, es el mediador de comunicación entre la central celular y los dispositivos móviles. Esta radio base se compone por diferentes equipos; entre ellos antenas celulares, que para su correcto funcionamiento se deben instalar a diferentes alturas, por esto es necesario tener estructuras que sean capaces de soportar las cargas de los equipos y de las fuerzas externas las que pudieran estar expuestas; como son viento y sismo.

Torres Auto soportadas.

Son las más eficientes por su geometría. Con ellas se pueden manejar alturas de hasta 84m en tramos de 6m y 3m. Por lo general se usan para sitios en terreno natural y para sitios con difícil acceso en donde resulta complicado el uso de grúa. Su geometría en elevación es de forma piramidal y en planta triangular. Es posible el uso de torres auto soportadas esbeltas de sección constante para alturas de hasta 42m.

Monopolos.

Su estructura consiste en tubos de sección circular o poligonal, y en elevación puede ser de sección constante o cónica. Se utilizan para sitios en terreno natural y cuando el espacio disponible para la torre no es muy grande, ya que la cimentación de estas estructuras es más pequeña que la requerida para torres autosoportadas. Se fabrican para alturas de hasta 42m. Este tipo de estructura puede ser camuflajeada de manera que no cause un gran impacto visual; el camuflaje puede ser tipo árbol, palmera, pino.

Arriostradas.

Estas estructuras se instalan por lo general en las azoteas de los inmuebles, pudiéndose también considerar su instalacion en terreno natural si el espacio disponible lo permite ya que requiere grandes claros por la posición de las retenidas. Estas estructuras son de sección triangular en planta y en elevación de sección constante, son estructuras esbeltas y una buena solución si el impacto visual no es relevante. Se pueden manejar alturas de hasta 60m.

3.1.2 Materiales.

- Los pernos y tornillos para uso en bridas en el ensamble de las piernas de la torre y base de plataforma de descanso (soportes tipo ménsula) serán de alta resistencia y se ajustarán a lo prescrito en la norma ASTM A325 del "Standard Specifications for High Strength Bolts for Structural Steel Joints, Including Suitable Nuts Plain Hardened Washers".

- Para las conexiones de la celosía (montantes y diagonales) de la torre, así como de los diferentes elementos y accesorios de la estructura como lo son: escalera, cama guía de ondas, plataforma de descanso, barandales, etc., se deberán utilizar también tornillos A-325

- Los electrodos para soldadura manual al arco eléctrico con electrodos metálicos recubiertos y/o con alambre MIG (Clasificación AWS A5.18) tipo ER70S-3,6, se ajustarán a la especificación AWS A5.1 "Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding " o a la especificación AWS A5.5 "Specifications for LowAlloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding".

- Para los perfiles que componen la estructura propia de la torre se podra emplear los siguientes tipos de acero:

TIPO DE ACERO	DESIGNACION			PROPIEDADES MECANICAS				DISPONIBILIDAD							
	NMX	ASTM	GRADO	FY		FU		PLACA	OS EN CALIENTE					LAMINADOS EN	
									LI	LD	CE	IR	OS	OC	CF
CARBON	B-254	A-36		2530	250	4080	400								
	B-177	A-53	B	2460	240	4220	415								

Tabla 3.1.2.1 Propiedades mecánicas de los materiales solicitados por Telesites.

LI: Ángulo de Lados Iguales.

LD: Ángulo de Lados Desiguales.

CE: Perfil C Estandar.

IR: Perfil I Rectangular.

OS: Redondo Solido Liso.

OC: HSS Circular.

CF: Perfil C Formado en Frio.

Los valores de Esfuerzo de Fluencia (Fy) y de ruptura en Tension (Fu) que se utilizarán en el diseño serán los mínimos especificados en la norma ASTM y NMX. No se emplearán en el diseño valores reportados en certificados de ensayes de los productos.

3.1.3. fabricación.

La fabricación de cada uno de los elementos que componen a la estructura en cuestión deberá apegarse estrictamente a los planos de fabricación que genera el torrero, incluyendo las preparaciones necesarias para la instalación de los diferentes accesorios de la torre.

- Las piezas se fabricarán correctamente de los tamaños y dimensiones mostradas en los planos de taller propiedad de telesites o del proveedor. Los cortes y perforaciones se harán de manera que produzcan superficies y líneas continuas, fieles a los detalles indicados. No se permitirán cortes con sopletes en piezas que vayan a quedar expuestas.
- El diámetro mínimo de la tornillería será de 13mm (1/2”).
- Para el caso de tornillería A-325 podrá admitirse que el tornillo sobresalga de ¼” a ½” del ras de la tuerca, se requiere de rondana de presión. En caso de que el torrero instale contratuerca (superior), la cuerda podrá quedar al ras de ésta. No es indispensable la contratuerca, pero sí la rondana de presión.
- Los tornillos deberán ir colocados de arriba hacia abajo y de afuera hacia adentro dependiendo la posición de la conexión.
- El apriete debe cumplir con el torque requerido, de acuerdo a las especificaciones del fabricante y a lo indicado en la tabla siguiente para tornillos A-325.

TORQUE SUGERIDO PARA TORNILLOS TIPO A-325				
DIAMETRO NOMINAL	AREA DE ESFUERZO	TENSION MINIMA	TORQUE	
(PULGADAS)	in^2	libras	En seco k=0.20 (lb-ft)	lubricado k=0.15 (lb-ft)
1/2	0.1419	12000	105	79
5/8	0.226	19000	210	155
3/4	0.334	28000	365	275
7/8	0.462	39000	595	448
1	0.606	51000	890	670
1 1/8	0.763	56000	1100	825
1 1/4	0.969	71000	1550	1165
1 1/2	1.405	103000	2700	2025

Tabla 3.1.3.1 Torque sugerido para tornillos Tipo A-325 por parte de Telesites.

Los torques:

Están calculados en Base a la siguiente ecuación:

T = K D P

Dónde: T = Torque (Pie-Libras)

D = Diámetro (Pie)

P = Tensión mínima (libras)

K = Coeficiente de Apriete

Valores de K:

K = 0.20 Sin recubrimiento y en seco

K = 0.15 Limpio y Lubricado

- Los agujeros para los tornillos se localizarán tan cerca del gramil del diámetro como sea posible y su diámetro será de 1.6mm (1/16”) mayor que el diámetro nominal del tornillo; si es mayor de 25 mm (1”), la holgura será de 3.2mm (1/8”)
- La mano de obra deberá ser de buena calidad y certificada. Las operaciones de corte, punzo nado y soldadura se harán con equipo y se removerán todas las rebabas.
- Todas las juntas soldadas que vayan a quedar expuestas se esmerilarán al ras de la superficie circundante. El fabricante y el montador mantendrán vigentes los programas de control que consideren necesarios para asegurar que la calidad de sus trabajos cumpla con los requisitos de estas normas y con las especificaciones del manual IMCA última edición.
- La fabricación de la torre puede ser a base de elementos de ángulo o la combinación de tubo con ángulo, respetando la clasificación del acero. Se deberá tener especial cuidado en que la unión entre tubo y brida se realice mediante un cordón de soldadura de filete perimetral tanto interior como exterior.
- La placa de conexión que une la celosía a la pierna de la torre deberá ir soldada a ésta mediante un cordón perimetral.

- La fabricación de Monopolos bridados deberá considerar en su diseño y fabricación cartabones de rigidez en la conexión brida tubo.

3.1.4. Diseño estructural.

Combinaciones de carga primarias para torres auto soportadas, que el reglamento telesites propone, se describen a continuación.

3.1.4.1 Cargas primarias y combinaciones.

Peso propio	PP
Carga muerta	CM
Carga viva	CV
Frecuencia natural	FN
Viento Z (Regional)	Vz Regional
Viento Z (Operación)	Vz Operación
Sismo 100Z,30X	Sz,0.3 Sx
Sismo 100X,30Z	Sx,0.3 Sz
Sismo 100Z,30X (Deflexiones)	Sz,0.3 Sx DEFLEXIONES
Sismo 100X,30Z (Deflexiones)	Sx,0.3 Sz DEFLEXIONES

Combinaciones de carga para diseño de torres auto soportadas por ASD que propone TELESITES.

Gravitacional	1.0 (PP + CM + CV)

Viento en Z (+)	0.75 (PP + CM + CV + Vz Regional)
Viento en Z (-)	0.75 (PP + CM + CV – Vz Regional)
Sismo (+ +)	0.75 (PP + CM + CV + Sz,0.30 Sx)
Sismo (+ +)	0.75 (PP + CM + CV + Sx,0.30 Sz)
Sismo (- -)	0.75 (PP + CM + CV – Sz,0.30 Sx)
Sismo (- -)	0.75 (PP + CM + CV – Sx,0.30 Sz)

El manual de telesites indica que solo se utilizaran los resultados más desfavorables para el diseño de la estructura.

3.1.4.2 Diseño de conexiones.

Para el diseño de Conexiones se deberá presentar el diseño de de los diferentes elementos de la estructura de acuerdo al código AISC vigente y al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias vigentes.

3.1.4.2 Diseño de cimentaciones.

Para el diseño de la cimentación se tomará como válido el criterio utilizado por el Reglamento de Construcciones del D.F y sus Normas Técnicas Complementarias 2004.

- Cálculo del momento actuante.

  Se calculará empleando las reacciones obtenidas del análisis de la torre con las combinaciones de carga mencionadas.

- Cálculo del momento resistente.

Se entenderá por resistencia la magnitud de una acción, o de una combinación de acciones, que provocarían la aparición de un estado límite de falla de la estructura o de cualquiera de sus componentes. En general, la resistencia se expresará en términos de la fuerza interna, o combinación de fuerzas internas, que correspondan a la capacidad máxima de las secciones críticas de la estructura. Se entiende por fuerzas internas, las fuerzas axiales, cortantes, los momentos de flexión y torsión que actúen sobre la estructura. Para la evaluación de las cargas muertas se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos. Para estos últimos se utilizarán los valores mínimos probables, cuando sea más desfavorable para la estabilidad y diseño de la estructura considerar una carga muerta menor, como en caso del volteo, flotación, lastre y succión producida por el viento y/o sismo.

- La relación del momento resistente con el momento de volteo no deberá ser menor que 2.

- La revisión de la presión de contacto sobre el terreno se realizará por el método de Plastificación Total o Áreas Reducidas según las NTC 2004 del RCDF.

$$q_{act} = \frac{\sum P}{A} < q_{admisible}$$

dónde:

$qact$ Presión de contacto actuante.

A Es el área de la losa de la zapata calculada reduciendo la longitud de cada lado dos veces el valor de la excentricidad, definida como el cociente del Momento de volteo y el peso total. Los elementos mecánicos a aplicar serán el 100%.

$\sum P$ Suma de las acciones verticales a tomar en cuenta en la combinación considerada en el nivel de desplante.

qad Capacidad de carga admisible determinada por la mecánica de suelos con un factor de seguridad mínimo de 3.00. En caso que se esté proporcionando la capacidad de carga última, $\sum P$ deberá afectarse por su respectivo factor de carga.

- Diseño por flexión

Para el cálculo de las presiones de contacto se considerará la longitud total de la losa en voladizo. El volado a considerar será (A - a) / 2 y (B – b) / 2, tanto para cimentaciones de torres autosoportadas como de monopolos.

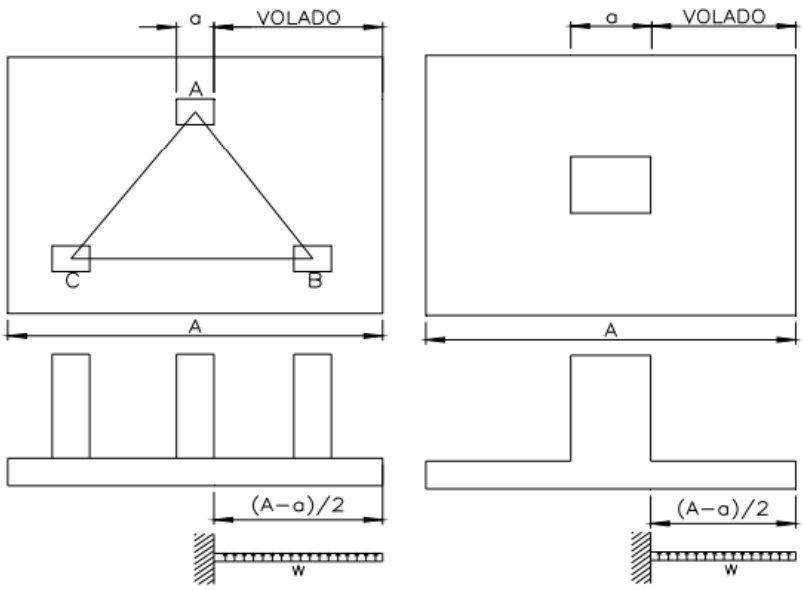


Figura 3.1.4.2.1 Diseño de cimentaciones

El valor de las presiones de contacto $qdiseño$ que se utilizarán para el cálculo del momento de diseño será el resultante del $qact$ por su factor de carga correspondiente (sin considerar el peso de relleno).

3.1.4.3 Revisión al Estado Límite de Servicio.

El análisis y diseño de la estructura se regirá bajo los códigos: Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE edición 1993, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal RCDF y sus Normas Técnicas Complementarias vigentes, AISC (edición vigente), código ASTM y reglamentos vigentes de la localidad en que se instalará la estructura. - La deflexión máxima horizontal se calculará para una velocidad de operación $Vop = Vr(0.65)$ km/h pero no menor a 90Km/h. Deberá incluirse la totalidad del análisis para la obtención de las fuerzas por viento y sismo así como el análisis para la obtención de desplazamientos. - Oscilación máxima permitida será $Tang1.50$ grados en el tope de torres auto soportadas, arriostradas y monopolos y mastiles, para cargas por viento y sismo.

3.2 Normas American Tower Company.

American Tower Company es una empresa internacional dedicada a la compra y construcción de estructuras para la telecomunicación, a continuación, se explica la normativa a utilizar en México.

La normativa empleada en México será la siguiente:

a) Construcción.

- Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (RCDF), 2004.
- Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.

b) Acero.

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, 2004.
- Manual IMCA, Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.
- Manual of Steel Construction publicado por el AISC (American Institute of Steel Construction), 2010.
- Normativa ASTM (American Society of Testing Materials).
- AWS D1.1, Structural Welding Code – Steel, (American Welding Society).

c) Concreto.

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2004.
- ACI-318, American Concrete Institute.

d) Mampostería.

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Mampostería, 2004.

e) Cimentaciones.

- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones, 2004.
- ACI-318, American Concrete Institute.

f) Viento.

- Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Viento, Comisión Federal de Electricidad (CFE), Instituto de Investigaciones Eléctricas 2008, México.
- TIA-222-G-2, Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas, ANSI (American National Standard Institute).

3.2.1 Materiales.

Acero Estructural

Las consideraciones que se tomarán respecto al acero son las siguientes:

a) Los tipos de perfiles usados en piernas, horizontales y diagonales se encuentran en el manual IMCA emitido por el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.

b) La clasificación para los perfiles y las placas de los aceros será de acuerdo a la ASTM (American Society for Testing and Materials). Los tipos de acero que tendrán validez son:

- ASTM A36. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 2530 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4080 – 5620 kg/cm2.
- ASTM A529. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 2950 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4220 – 5975 kg/cm2.
- ASTM A572. Para el grado 50 se tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 3515 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4570 kg/cm2.
- IV. ASTM A572. Para el grado 60 se tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 4218 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 5272 kg/cm2.

c) La clasificación para secciones estructurales huecas (tubulares OC) será de acuerdo a la ASTM (American Society for Testing and Materials). Los tipos de acero que serán aceptados son:

- ASTM A36. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 2530 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4080 – 5620 kg/cm2.
- ASTM A53 Grado B. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 2460 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4220 kg/cm2.

- ASTM A500 Grado A, B y C. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 3235 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4360 kg/cm2.
- ASTM A501 Grado A, B y C. Tiene un esfuerzo de fluencia (Fy) de 2530 kg/cm2 y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión (Fu) de 4080 kg/cm2.

d) Las calidades aceptadas para la tornillería serán A-325 y A-490. Los tornillos A-325 deberán ser galvanizados en caliente mientras que los tornillos A-490 serán galvanizados mediante algún proceso mecánico o en su defecto ser instalados aplicando un material epóxico o similar.

e) En cualquier tipo de acero habrá que considerar el valor mínimo de esfuerzo de fluencia (Fy) y no lo reportado por certificados en ensaye alguno.

f) En todas las memorias de cálculo, planos generales y/o planos llave deberán contener las especificaciones de acero empleado.

Concreto

La resistencia mínima a la compresión del concreto (f´c) que se deberá tomar estará en función del elemento estructural de que se trate. Así, resulta:

a) Para elementos principales el concreto será de un f´c = 250 kg/cm2 o mayor si lo requiere algún proyecto en específico. Se deberá tomar en

cuenta las condiciones regionales del sitio para ver su disponibilidad en la zona donde se ubicará el sitio. Los elementos principales a considerar son las zapatas, dados, muros de contención o cualquier elemento que resista los elementos mecánicos originados del análisis de la estructura.

b) Las plantillas de concreto simple tendrán como mínimo un f´c = 100 kg/cm2.

3.2.2 Parámetros de análisis y diseño de torre.

Parámetros para Análisis por Viento

Los parámetros de diseño serán determinados por el Departamento de Ingeniería para todos los casos (revisiones de torre existentes).

Manual de Diseño por Viento CFE 2008

El análisis de viento será de acuerdo a lo indicado en el Manual de Diseño por Viento CFE – 2008

Velocidad Regional.

La velocidad regional es a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma. En su determinación se considera un periodo de retorno de 200 años. Para torres TV Azteca el periodo de retorno se deberá considerar de 50 años.

Categoría de Terreno.

Ese factor considera el grado de rugosidad que se presenta alrededor de la zona de desplante. La categoría de terreno se obtiene de manual de la CFE – 2008.

Factor de Topografía.

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura.

Altura sobre el Nivel del Mar (ASNM) y Temperatura. La ASNM se obtiene haciendo uso de Google Earth. Mientras que la temperatura será determinada de las Ciudades más Importantes del manual CFE – 2008. Sin embargo, en caso de que la ciudad donde se encuentre la estructura no esté en la tabla y por lo tanto no se obtenga la temperatura por este medio ese dato puede ser obtenido por algún otro medio. Se debe aclarar que lo anterior se ha de sustentar proporcionando las fuentes de donde fue obtenido.

3.2.3 Consideraciones en el Análisis

3.2.3.1 Apoyos

Las consideraciones en los apoyos de las torres y monopolos que se deberán considerar son las siguientes:

- Torre auto soportada → Articulada.
- Torre arriostrada → Articulada o Empotrada en su base; y articulada en sus arriostres.
- Monopolo → Empotrado.
- Mástil Apuntalado y Arriostrado → Empotrado en la base y articulado en el puntal y los arriostres.

3.2.3.2 Cargas

Las cargas a considerar son las siguientes:

- Carga Muerta. Las cargas muertas se definen como todo aquel peso permanente en la estructura. Se deberá de contemplar dentro de esta categoría el peso propio de la estructura, accesorios (escaleras, cama guía de ondas, feeders, plataformas celulares y/o de descanso y herrajes) y antenas. Así, como cualquier otro peso que se considere que va a actuar por un periodo indefinido en la torre y que no se haya considerado en la clasificación anterior.

- Carga Viva. Se deberá considerar un peso de 300 kg (3 personas) en la cúspide de la torre.
- Viento. Los efectos dinámicos del viento derivados del análisis respectivo deberán ser aplicados en la dirección X, -X, Z y –Z; y serán distribuidos de manera nodal en todo el cuerpo de la torre (de acuerdo a la modulación de la misma). Para torres cuadradas se deberá considerar el efecto del viento a 45°.
- Sismo. Los efectos sísmicos derivados del análisis respectivo deberán ser aplicados en la dirección X, -X, Z y –Z; y serán distribuidos de manera nodal en todo el cuerpo de la torre (de acuerdo a la modulación de la misma).

3.2.4 Combinaciones de Carga.

Los métodos de diseño que se emplearán en esta norma serán los publicados por la AISC, los cuales son el ASD (Allowable Strenght Design o Diseño por Resistencia Permisible) y el LRFD (Load and Resistance Factor Design) o Diseño por Factores de Carga.

Metodo ASD		Metodo LRFD	
Base Triangular	Base cuadrangular	Base Triangular	Base cuadrangular
1.0 M	1.0 M	1.4 M	1.4 M
1.0 M+ 1.0 Vnormal	1.0 M+ 1.0 Vnormal	0.90 M+ 1.6 Vnormal	0.90 M+ 1.6 Vnormal
1.0 M+ 1.0 V60	1.0 M+ 1.0 V60	0.90 M+ 1.6 V60	0.90 M+ 1.6 V60
1.0 M+1.0 V90	1.0 M+1.0 V90	0.90 M+1.6 V90	0.90 M+1.6 V90
		1.20 M+ 1.6 Vnormal	1.20 M+ 1.6 Vnormal
		1.20 M+ 1.6 V60	1.20 M+ 1.6 V60
		1.20 M+1.6 V90	1.20 M+1.6 V90
1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal
1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60
1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90
1.0M +0.75 Vservicio normal	1.0M +0.75 Vservicio	1.0M +0.75 Vservicio	1.0M +0.75 Vservicio
1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60
1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90
CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL

Tabla 3.2.4.1 Combinaciones de carga American Tower Company

3.2.5. Revisión de desplazamientos.

El desplazamiento máximo se revisará considerando lo siguiente:

Torres auto soportadas y arriostradas. Se revisarán como lo indica el Manual de Obras Civiles CFE - 2008 con la ecuación siguiente:

$$\Delta \text{calculado} \leq H \tan(0.75)$$

donde:

Δ calculado = desplazamiento máximo obtenido del análisis en metros. Para obtener este desplazamiento se tomará la combinación de cargas de servicio con la carga de viento al 0.75% de la combinación más desfavorable.

3.2.6. Revisión de conexiones.

Las conexiones deberán ser revisadas de acuerdo a lo señalado por el AISC y atendiendo al Capítulo 5 Conexiones de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas. En la revisión se deberán considerar elementos tales como anclas, tornillería y placas de conexión considerando la combinación más desfavorable. La revisión de las conexiones se efectuará por cada uno de los tramos que constituyan la estructura.

3.2.7. Revisión de Cimentación.

- Revisión Por Volteo. La revisión por volteo se cumple cuando la relación entre el momento estabilizador y el momento de volteo (no se deberán tomar la carga viva que disminuyan este momento) sea mayor o igual a 2. Se deberá considerar que el concreto tomará un peso volumétrico del orden de 2.4 ton/m3 y el relleno de 1.6 ton/m3. En caso de contar con relleno a base de concreto ciclópeo se tomará 2.2 ton/m3 como su peso volumétrico.
- Revisión por capacidad de Carga. La revisión se cumple cuando la relación entre la presión actuante es menor a la presión resistente, la cual, estará en función de la capacidad de carga admisible (qa) en ton/m2 obtenida del estudio de mecánica de suelos.
- Revisión Por Deslizamiento. Para que la cimentación sea aceptada por deslizamiento la relación entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza que provoca el desplazamiento horizontal, será por lo menos mayor o igual a 2. Para esta revisión no se deberán considerar las cargas vivas.
- Revisión por arrancamiento. Esta revisión se hará a los soportes de las retenidas y a cimentaciones de torres con zapatas aisladas. Se aceptarán cuando el peso de los soportes más el peso del relleno (de considerarse) sea mayor que la fuerza que ejercen los cables sobre éstos.

Capítulo 4. Caso de estudio, análisis de torre de telecomunicación Sitio Ensenada 47 metros de altura.

4.1 Descripción del proyecto.

Sitio Ensenada Trabajo para American Tower Company (ATC)

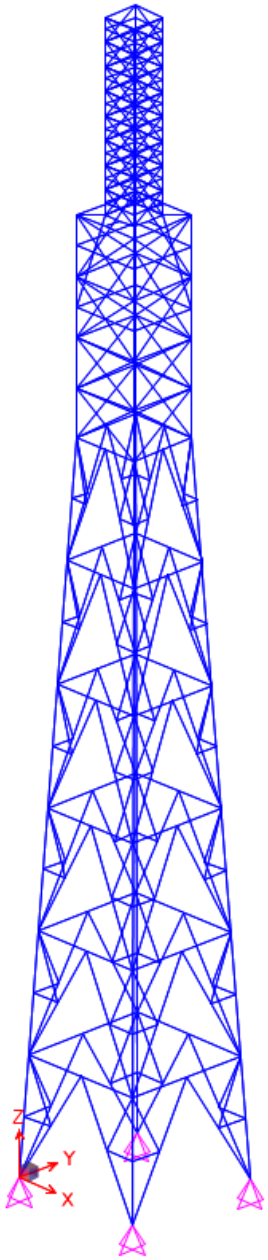


Figura 4.1.1 Torre Ensenada 47 metros de altura

La empresa American Tower Company encomendó el análisis de la torre auto soportada llamada 85664-ENSENADA, como datos iniciales la empresa que solicita el trabajo manda información de los parámetros de diseño iniciales, así como las cargas a considerar, el análisis se hará con referencia al manual de diseño de obras civiles, diseño por viento CFE.

Los datos iniciales que hay que considerar son.

- Ubicación donde se colocará la torre.
- La altura sobre el nivel del mar del sitio.
- La temperatura media anual de la región en donde estará ubicada la torre.
- La velocidad regional, esto se puede obtener con los mapas de isotacas o el cliente también puede proporcionar este parámetro.
- El factor topográfico, de igual forma es un dato que debe de proporcionar el cliente o se puede obtener mediante herramientas computacionales o una visita al lugar.
- Categoría del terreno.

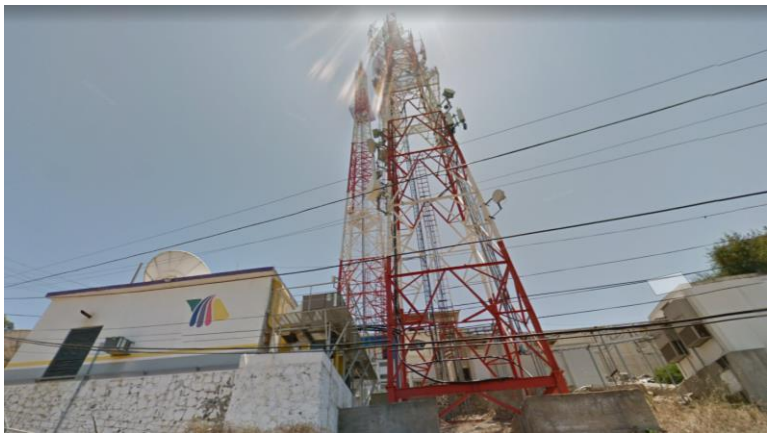


Figura 4.1.2 Imagen de Torre Ensenada

American Tower Company proporciono los datos iniciales, mencionados anteriormente.

Ubicación del sitio: Núm. Ext. 203; Núm. Int. S/N; Col. Fraccionamiento Chapultepec; Municipio. Ciudad. Ensenada; Estado Baja California Norte; C.P. 22870; Entre Calle Punta Banda.

Altura sobre el nivel del mar del sitio: La altura sobre el nivel del mar del sitio fue proporcionada por ATC, el valor indicado es de 113 msnm.

Temperatura media anual del sitio: La temperatura media anual de igual forma fue proporcionada por ATC, tomando 16.1 grados centígrados.

Velocidad Regional: La Velocidad regional indicada por ATC, para un sitio de TV AZTECA es de 106.5 km/hr.

Factor topográfico: El factor topográfico a utilizar que también fue proporcionado por ATC es de 1.2 (adimensional).

Categoría del terreno: la categoría del terreno se indicó que sería tipo 3 (adimensional).

Como se mencionó anteriormente estos datos pueden ser proporcionados directamente por el cliente o en su defecto, estos parámetros también pueden ser obtenidos mediante las guías del manual de CFE.

UBICACION	ENSENADA	unidades
msnm	113	metros
T	16.1	℃
VR	106.5	km/hr
Ft	1.2	adimensional

Tabla 4.1.1 Parámetros proporcionados por American Tower Company

4.2 Análisis Dinámico por viento.

Como primer paso se debe de obtener la presión dinámica de base, q_z

$$q_z = 0.0048GV_D^2 \text{ (formula 4.2.9)} \quad \text{(Kg/m2)}$$

En donde:

V_D = Es la velocidad básica de diseño, en km/h.

q_z = Es la presión dinámica en la base a una altura z sobre el nivel del terreno.

G =El factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar, adimensional.

El valor de G se obtiene con la siguiente expresión.

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \text{ (adimensional) (Formula 4.2.10)}$$

Ω = Es la presión barométrica, en mm de Hg.

τ = la temperatura ambiental, en °C.

De acuerdo a tabla, no se conocen los datos de la presión barométrica de acuerdo a la altitud inicial del sitio (msnm se obtienen los parámetros para poder hacer una interpolación y obtener los valores correspondientes.

Altitud, hm (msnm)	Presión barométrica, Ω (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Tabla 4.2.1 Relación entre la altitud y la presión barométrica utilizada por el manual de obras civiles diseño por viento CFE 2008.

La altitud requerida para este problema son 113 msnm, este valor se encuentra entre 0 y 500 (msnm).

$$X_1 = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2} + x2$$

Formula de interpolación.

	INTERPOLACIÓN	
	X	Y (m)
X0,Y0	760	0
	X1Ω=	113
X2,Y2	720	500

X1Ω=	750.96

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \text{ (Formula 4.2.10)}$$

Donde:

Ω=750.96 msnm

τ=16.1 °C.

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

Factor de amplificación dinámica.

Factor de amplificación dinámica para torres de celosía auto soportadas.

El factor de amplificación dinámica, F_{ad}, para torres de celosia se calcula con la siguiente ecuación.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{ref} F_{AD} \text{ (Formula 4.4.20)}$$

$$F_{AD} = \frac{1+2I_v(z_s)k_p\sqrt{B^2+R^2}}{1+7I_v(z_s)}\left[\frac{C_{RG}}{C_G}\right]F_M \text{(Formula 4.2.21)}$$

Donde:

B^2 = El factor de respuesta de fondo (adimensional).

$I_v(z_s)$ =Indice de turbulencia a una altura de referencia z_s, en (metros)

R^2 = El factor de respuesta en resonancia (adimensional).

k_p= Factor pico (adimensional).

$C_{RG}\ y\ C_G$=Constantes correctivas de la forma modal (adimensionales).

F_M =Factor de corrector de la masa (adimensional).

z_s = La altura de referencia, este valor es igual a la altura de la torre (en metros).

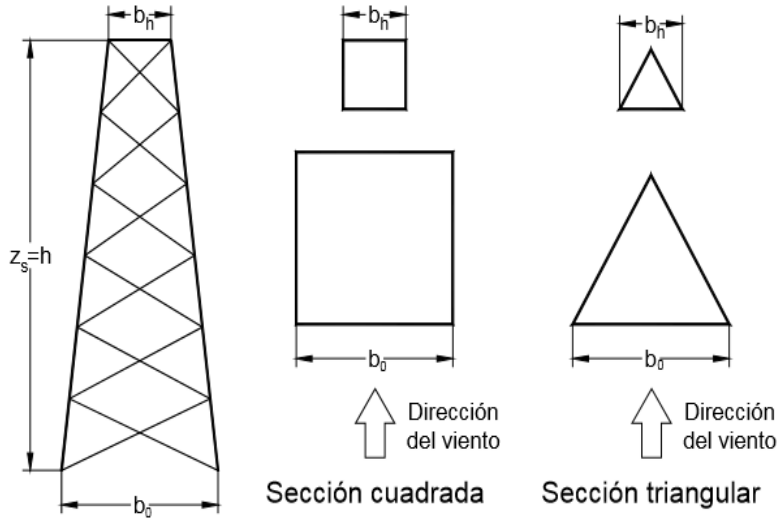


Figura 4.1.3 Torre cuadrada y triangular

Obtención Constantes correctivas de la forma modal $C_{RG}\ y\ C_G$.

Previo se debe obtener, la expresión.

$$\lambda_B = 1 - \frac{b_h}{b_0} \quad \text{(Formula 4.4.33)}$$

b_0 =dimensión de la base de la torre (metros).

b_h =dimensión de la corona de la torre (metros)

$$\lambda_B = 1 - \frac{1.5}{6} = 0.75$$

Obteniendo este valor se pueden obtener las constantes.

Categoria del terreno	ƀ	α'
1	1.17	0.12
2	1	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Tabla 4.2.2 Valores para factor de exposición medio.

$$C_{RG} = \left(\frac{1 - \left(\frac{3}{4}\right)\lambda_B}{\alpha' + 3}\right) \text{ (Formula 4.4.31)}$$

$$C_{RG} = \left(\frac{1 - \left(\frac{3}{4}\right)\ 0.75}{0.21 + 3}\right) = 0.13629$$

$$C_G = \left(\frac{1}{2\alpha' + 3} - \frac{\lambda_B}{2\alpha' + 4}\right) \text{ (Formula 4.4.32)}$$

$$C_G = \left(\frac{1}{(2 * 0.21) + 3} - \frac{0.75}{(2 * 0.21) + 4}\right) = 0.1226$$

Obtención de respuesta de fondo, B^2

$$B^2 = \frac{1}{1 + 2\frac{\sqrt{hb}}{L(Z_s)}} \quad \text{(Formula 4.4.22)}$$

Donde:

h=altura de estructura, 47 metros

b=base de torre, 6 metros.

L(Zs)=longitud de la escala de turbulencia a la altura Zs=47 m

Para la obtención de la longitud de la escala de turbulencia se utilizan las siguientes formulas.

$$L_{(Z_s)} = 300\left(\frac{Z_s}{200}\right)^{\tilde{\alpha}} para\ Z_s => Zmin \text{ (Formula 4.4.8. a) (en metros)}$$

$$L_{(Z_s)} = L_{(Z_{min})}\ para\ Z_s < Zmin \text{ (Formula 4.4.8. b)(en metros)}$$

Valores de las constantes đ,z0,zmin y ᾱ				
categoria	đ	zo(m)	zmin (m)	ᾱ
1	0.15	0.01	1	0.44
2	0.19	0.05	2	0.52
3	0.29	0.3	5	0.61
4	0.43	1	10	0.67

Tabla 4.2.3 Valores de las constantes. đ, Z0(m), Zmin(m), ᾱ.

Donde:

$Z_s = altura\ de\ la\ torre, 47\ metros.$

$\tilde{\alpha} = 0.61, tipo\ 3$

$Z_{min} = 5\ metros, tipo\ 3.$

$$L_{(Z_s)} = 300\left(\frac{47}{200}\right)^{0.61} = 124.01\,m$$

Se utiliza la primera expresión ya que cumple que zs>zmin.

Con esto se puede obtener la respuesta de fondo.

$$B^2 = \frac{1}{1 + 2\frac{\sqrt{47 * 6}}{124.01}} = 0.7868$$

Factor de corrección por masa y forma modal, F_m.

Para esto es necesario realizar el modelo matemático y colocar las cargas muertas que estarán en la torre, para obtener la frecuencia natural del sistema.

Para esto se tomará el peso propio de la estructura y la altura y peso de las antenas que están en la imagen.

Antenas y Soportes								
MW= MICRO ONDAS, RF=REFLECTORA								
ID	Tipo	H (m)	b(m)	d(m)	peso (kg)	pierna	Azimut	z(m)
4	MW	0.6			15	A		14.98
5	MW	0.6			15	A		15.5
6	MW	2			95	A		17.65
7	MW	2			95	A		23.42
8	MW	0.6			15	A		24.5
9	RF	2.4	0.27	0.13	50	A		32.98
10	MW	1.2			45	B		10
11	RF	1.2	0.17	0.07	45	B		12.5
12	MW	1.2			45	B		15
13	MW	0.6			15	B		17.25
14	MW	0.6			15	B		19
15	MW	0.6			15	B		19.51
16	MW	0.6			15	B		25.7
17	MW	0.6			15	B		25.7
18	MW	0.6			15	B		26.45
19	MW	0.6			15	B		27.7
20	MW	0.6			15	B		27.7
21	MW	0.6			15	B		28.3
22	RF	2.4	0.27	0.13	50	B		29.34
23	RF	1.3	0.27	0.1	45	B		44.23
24	MW	0.6			15	C		9.2
25	RF	1.3	0.27	0.1	50	C		19.33
26	RF	1.3	0.27	0.1	50	C		19.33
27	MW	1.2			45	C		21.5
28	MW	0.6			15	C		26.2
29	RF	1.2	0.17	0.1	45	C		29
30	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		22.5
31	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		22.5
32	MW	0.6			15	D		27.12
33	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		27.9

Tabla 4.2.4 Tabla proporcionada por American Tower Company, indicando alturas tipos y dimensiones de antenas.

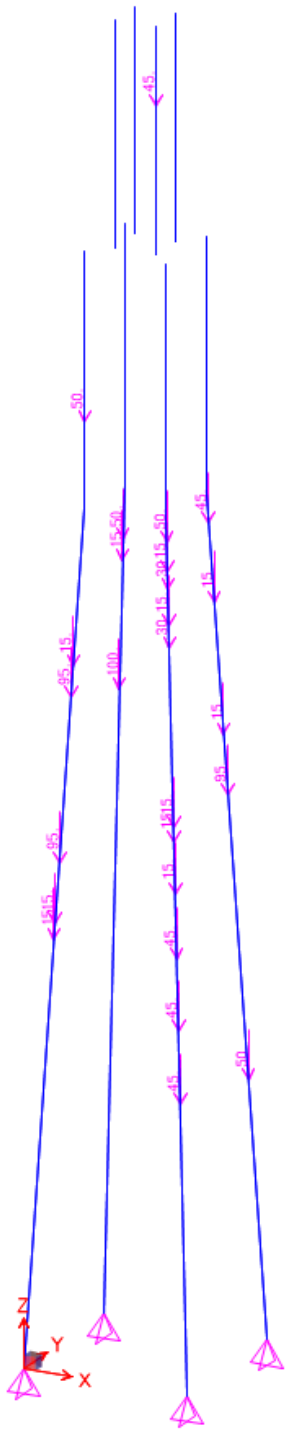


Figura 4.1.4 Asignación de cargas muertas (antenas)

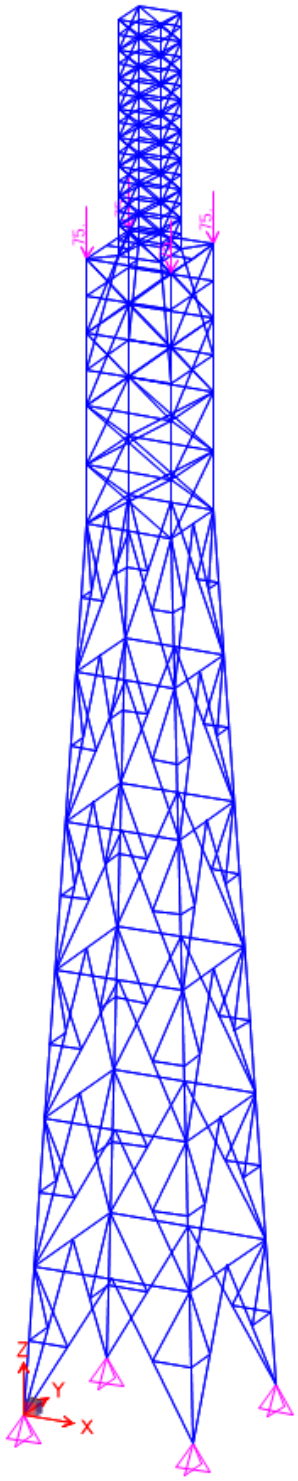


Figura 4.1.5 Asignación de cargas vivas

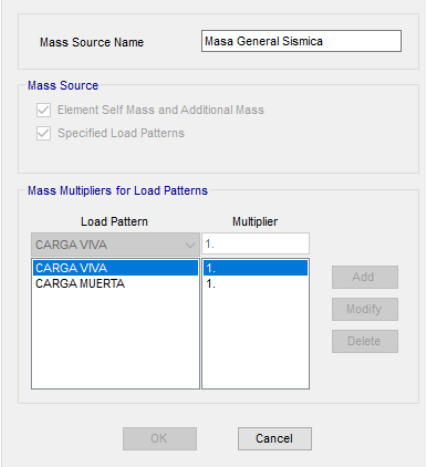


Figura 4.1.6 Fuente de masa considerada.

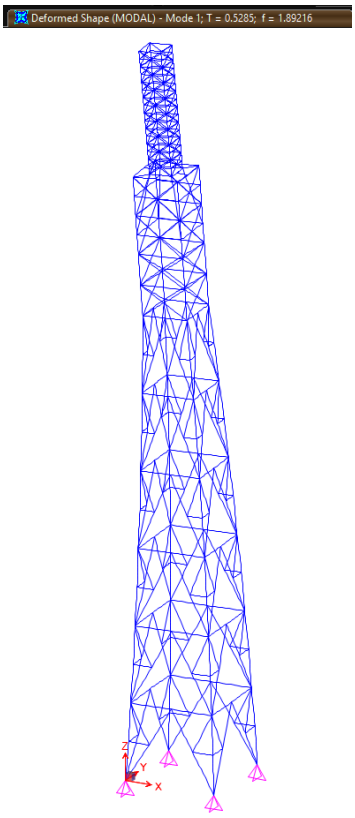


Figura 4.1.7 Características dinámicas de torre de Telecomunicación

De acuerdo al modelo matemático, el periodo fundamental son 0.5285 segundos y la frecuencia 1.8926.

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	PP+CM+CV	Combination	226.36	222.3	3967.82	20.31	-13.71	-0.4
2	PP+CM+CV	Combination	-228	227.53	4047.01	13.54	28.63	-1
3	PP+CM+CV	Combination	222.85	-223.86	3869.78	-13.1	-19.12	-0.54
4	PP+CM+CV	Combination	-221.21	-225.96	3929.23	-18.31	17.5	2.39
					15813.84			

Tabla 4.2.5 Tabla indicando peso total de estructura, necesaria para la masa generalizada.

La frecuencia natural se calculó con un modelo tridimensional con el programa SAP 2000, siendo 1.89104 Hz, considerando el peso de la estructura, los accesorios y la carga viva.

$$n_{1,x} = 1.89216\ hz$$

Factor de corrección por masa y forma modal.

$$F_M = \frac{m_{total}}{5m_r}\left[\left(0.5\frac{b_h}{b_0} - 0.3\right)(\lambda_m - 2) + 1.4\right](1 - 0.4ln\lambda_m) \quad \text{(Formula 4.4.34)}$$

Donde:

m_{total} = 15813 kg

b_h = Dimension de la corona de la torre, 1.5 m

b_0 = Dimension de la base de la torre, 6 m

λ_m =Es el cociente que determina la variación de la forma modal con la altura, adimensional. Valores estimados de este coeficiente son: λ_m =2 para torres rectangulares o cuadradas y λ_m =1.75 para torres triangulares. (4.4.34)

m_r =La masa generalizada de la estructura en la dirección longitudinal al viento, en kg.

$$m_r = \int_0^h m(z)\left[\phi_{1,x}(z)\right]^2 dz \quad (4.4.34)$$

$\phi_{1,x}(z)$ =la configuración modal del primer modo, en la dirección longitudinal del viento, adimensional.

El manual CFE, indica ese paso para obtener la masa generalizada, pero en el código, australiano de diseño de torres de celosía y mástiles AS 3995-1994, indica que se puede obtener de la siguiente manera siendo muy aproximada a la expresión marcada por el reglamento.

$$m_r = \frac{M_{total}}{3}\left[\left(\frac{w_a}{w_b}\right)^2 + 0.15\right] \text{ (Appendix D, estimation of the first mode natural frequency, ... D3)}$$

Donde:

w_a =promedio de ancho de base y corona de torre, ((6+1.5) /2) =3.75m

w_b = Ancho de base de torre, 6 m

M_{total} = peso total de torre contando accesorios y carga viva, 15813.84 kg.

$$m_r = \frac{15813.84}{3}\left[\left(\frac{3.75}{6}\right)^2 + 0.15\right] = 2849.7857\ kg$$

Con el valor anterior, se puede obtener el factor de corrección modal.

$$F_M = \frac{15813.84}{5 * 2849.7857}\left[\left(0.5\frac{1.5}{6} - 0.3\right)(2-2) + 1.4\right](1 - 0.4ln2)$$

$$F_M = 1.1229 \text{ (adimensional)}$$

Velocidad media de diseño, corresponde a un tiempo de premediación de diez minutos y se aplicara para determinar el factor de respuesta dinámica y en los problemas de aparición de vórtices e inestabilidad aerodinámica, esta velocidad media se determina con la siguiente expresión,

$$V_D' = \frac{F_T F_{rz}' V_R}{3.6} \text{ (Formula 4.4.1)} \left(\frac{km}{hr}\right)$$

En donde:

V_R =Es la velocidad regional de ráfaga de viento en Km/h, (106.5 km/hr)

F_T =Factor de topografía del lugar, 1.2 (adimensional)

F_{rz}' =Factor de exposición para la velocidad media.

$$F_{rz}' = 0.702\text{b} \text{ sí z<=10 (Formula 4.4.2.a)}$$

$$F_{rz}' = 0.702\text{b}\left(\frac{Z}{10}\right)^{\tilde{\alpha}} \text{ sí 10<z<=200 (Formula 4.4.2.b)}$$

Categoría	ƀ	ά
1	1.17	0.12
2	1	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Tabla 4.2.6 Valores para factor de exposición medio.

Como la torre tiene 47 metros cumple con la primera condición.

$$10 < 47 =< 200.$$

$$F'_{rz} = 0.702 * 0.77 \left(\frac{47}{10}\right)^{0.21} = 0.7481$$

Con esto ya se puede obtener la velocidad media.

Teniendo:

$$V'_D = \frac{1.2 * 0.7481 * 106.5}{3.6} = 26.55 \ km/hr$$

Factor de respuesta en resonancia, R^2

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{est,x}} S_L\left(Z, n_{1,x}\right) R_h(n_h) R_b(n_b) \quad \text{(Formula 4.4.9)}$$

Donde:

$\zeta_{est,x}$ =Factor de amortiguamiento del sistema, en este caso se utilizará el 5%, 0.005.

$S_L\left(Z, n_{1,x}\right)$ =Espectro de densidad de potencia, evaluado a una altura Zs.

$R_h(n_h)R_b(n_b)$ =Funciones de admitancia aerodinámica.

$$S_L(Z, n_{1,x}) = \frac{4\left(\frac{n_{1,x}L_{(Z_s)}}{V_D' Z_s}\right)}{\left(1 + 71\left(\frac{n_{1,x}L_{(Z_s)}}{V_D' Z_s}\right)^2\right)^{5/16}} \quad \text{(Formula 4.4.24)}$$

$$R_h(n_h) = \frac{1}{1 + n_h} \quad \text{(Formula 4.4.25) (adimensional)}$$

$$n_{h=}\frac{2n_{1,x}h}{V_D'(z)} \text{(Formula 4.4.27) (adimensional)}$$

$$R_b(n_b) = \frac{1}{1 + n_b} \text{(Formula 4.4.26)(adimensional)}$$

$$n_{b=}\frac{3.5n_{1,x}b}{V_D'(z)} \text{ (Formula 4.4.28) (adimensional)}$$

Resolviendo las fórmulas anteriores.

$$n_{h=}\frac{2 * 1.89104 * 47}{26.55} = 6.6952$$

$$R_h(n_h) = \frac{1}{1 + 6.6952} = 0.1299$$

$$n_{h=}\frac{3.5 * 1.89104 * ((6 + 1.5)/2)}{26.55} = 0.9348$$

$$R_b(n_b) = \frac{1}{1 + 0.9348} = 0.5169$$

Con lo anterior se puede obtener el espectro de densidad de potencia.

$$L_{(Z_s)} = 300\left(\frac{47}{200}\right)^{0.61} = 124.01\, m$$

$$S_L(Z, n_{1,x}) = \frac{4\left(\frac{1.89104 * 124.01}{26.55}\right)}{\left(1 + 71\left(\frac{1.89104 * 124.01}{26.55}\right)^2\right)^{5/6}} = 0.02682$$

$$R^2 = \frac{3.1416}{4 * 0.005} * 0.02682 * 0.1299 * 0.5169 = 0.2831$$

Obtención del factor pico k_p.

$$k_p = \sqrt{2\ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600v)}} \geq 3.0 \qquad \text{(Formula 4.4.29) (adimensional)}$$

Donde:

$$v = n_{1,x}\sqrt{\frac{R^2}{B^2+R^2}} \quad \text{(Formula 4.4.30) (adimensional)}$$

$$v = 1.89104\sqrt{\frac{0.2831}{0.7868 + 0.2831}} = 0.9728$$

$$k_p = \sqrt{2\ln(600 * 0.9728)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600 * 0.9728)}} = 3.7372 > 3.0$$

Indice de turbulencia a la altura de referencia.

$$I_v(Z_s) = \bar{d}\left(\frac{Z_s}{10}\right)^{-\alpha'} \qquad Zmin \leq Zs \leq Zmax \quad \text{(Formula 4.4.6. a) (adimensional)}$$

$$I_v(Z_s) = \frac{1}{ln\left(\frac{Z_{min}}{Z_0}\right)} \qquad Zmin \leq Zs \quad \text{(Formula 4.4.6. b)}$$

categoria	đ	zo(m)	zmin (m)	ᾱ
1	0.15	0.01	1	0.44
2	0.19	0.05	2	0.52
3	0.29	0.3	5	0.61
4	0.43	1	10	0.67

Categoría	ƀ	ȧ
1	1.17	0.12
2	1	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Tablas referenciadas anteriormente

$$I_v(Z_s) = 0.29\left(\frac{47}{10}\right)^{-0.21} \qquad 10 \leq 47 \leq 200 \text{ (adimensional)}$$

$$I_v(Z_s) = 0.2095$$

Con todo el procedimiento anterior se puede obtener el Fad, que es el factor de amplificación dinámica.

$$F_{AD} = \frac{1 + 2I_v(z_s)k_p\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)}\left[\frac{C_{RG}}{C_G}\right]F_M \quad \text{(Formula 4.4.21)(adimensional)}$$

Donde:

$$I_v(Z_s) = 0.2095$$

$$k_p = 3.7372$$

$$B^2 = 0.7868$$

$$R^2 = 0.2831$$

$$C_{RG} = 0.13629$$

$$C_G = 0.1226$$

$$F_M = 1.1229$$

$$F_{AD} = \frac{1 + 2 * 0.2095 * 3.7372\sqrt{0.7868 + 0.2831}}{1 + 7 * 0.2095}\left[\frac{0.1384}{0.1276}\right] * 1.1229$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

Fuerza en torre y en los accesorios.

Las fuerzas equivalentes sobre los diferentes tramos de la torre se obtienen con la expresión Feq, en donde el área de referencia, Aref corresponde al área de los miembros de la cara frontal del tramo considerado, proyectada perpendicularmente a la dirección del viento.

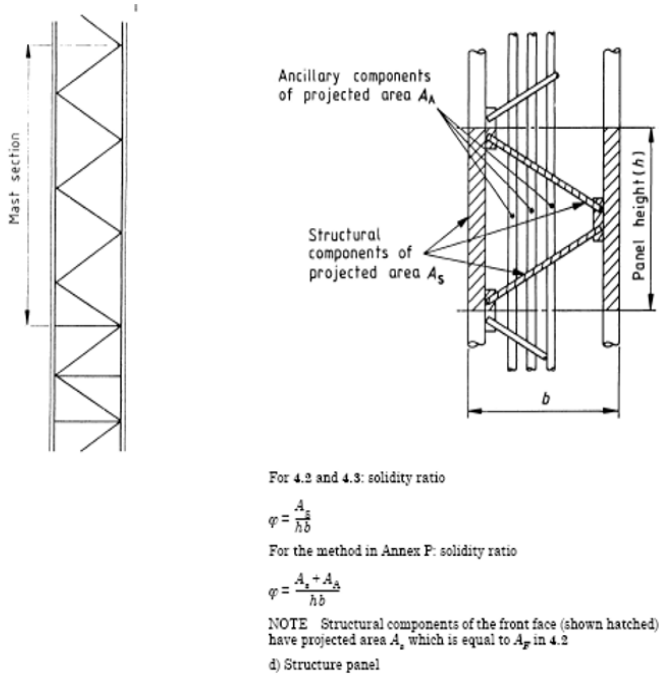
$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD} \text{ (Formula 4.4.20)}$$

Es importante mencionar que el factor de amplificación dinámica es el mismo para todos los tramos de la torre, sin embargo, la presión dinámica de base dependerá de la altura de referencia.

Calculo del coeficiente relación de solidez.

Para obtener el coeficiente de solidez dependerá del tramo que se quiera analizar, para entender este concepto se puede visualizar como una medida unitaria, para obtener el Atot que es el área total en ese tramo, es el ancho de la torre por su longitud unitaria, de igual forma para obtener Aat se tomaran los elementos sólidos sean piernas y celosías en esa área de ancho de torre y longitud unitaria de torre.

$$\varphi = \frac{A_{at}}{A_{tot}}$$



For 4.2 and 4.3: solidity ratio

$$\varphi = \frac{A_s}{hb}$$

For the method in Annex P: solidity ratio

$$\varphi = \frac{A_s + A_A}{hb}$$

NOTE Structural components of the front face (shown hatched) have projected area A_s which is equal to A_F in 4.2

d) Structure panel

Figura 4.1.8 Relación de solidez para torres de telecomunicación.

Coeficiente de arrastre para torres de celosía.

Dependiendo el tipo de torre ya sea cuadrada o triangular en la siguiente tabla se muestran los coeficientes de arrastre a utilizar se deberá interpolar para obtener el valor especifico.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla 4.2.7 Coeficiente de arrastre torres de celosía, Manual de obras civiles de diseño por viento CFE 2008.

TRAMO 1 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo, 5 metros

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

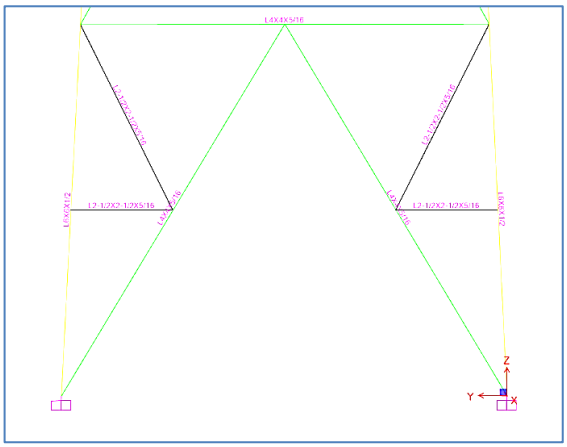


Figura 4.1.9 Tramo 1

$$Ztop = 5\,m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6")

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.83 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.1846 m2.

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4”)

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.50 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.5588 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½””)

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 8.34 m (suma de longitudes de celosía) = 0.5295 m2

Suma de áreas solidas=1.524+1.1846+0.5588+0.5295=3.7969 m2

Aat =3.7969 m2

$Atot$ = área total del tramo.

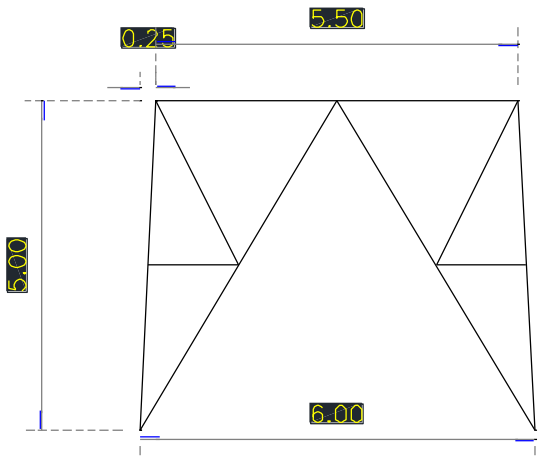


Figura 4.1.10 Geometría tramo 1

$$Atot = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor + base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$Atot = \frac{(\mathbf{6.0 + 5.50})\ \mathbf{5.0}}{\mathbf{2}} = \mathbf{28.75\ m2}$$

$$\varphi = \frac{3.7969}{28.75} = 0.132$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(3.5 - 2.8)(0.132 - 0.2)}{(0.1 - 0.2)} + 2.8 = 3.276$$

FUERZAS EN TORRE ANÁLISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla 4.2.8 valores de $\alpha, \delta, c.$, Manual de obras civiles diseño por viento CFE.

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = 0.881 \qquad si\ 5 \leq 10$$

$$V_D = 1.2 * 0.881 * 106.5$$

$$V_D = 112.59\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 112.59^2$$

$$q_z = 61.95$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 61.95\ kg/m2$$

$$C_{at} = 3.276$$

$$Aat = 3.7969\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 61.95 * 3.276 * 3.7969 * 1.2935 = 996.7374\ kg$$

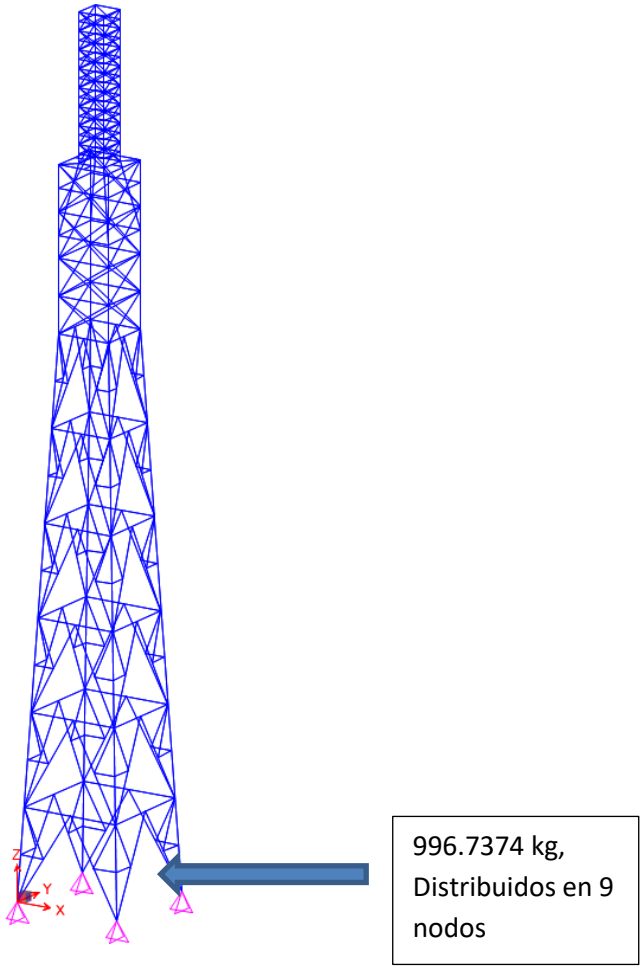
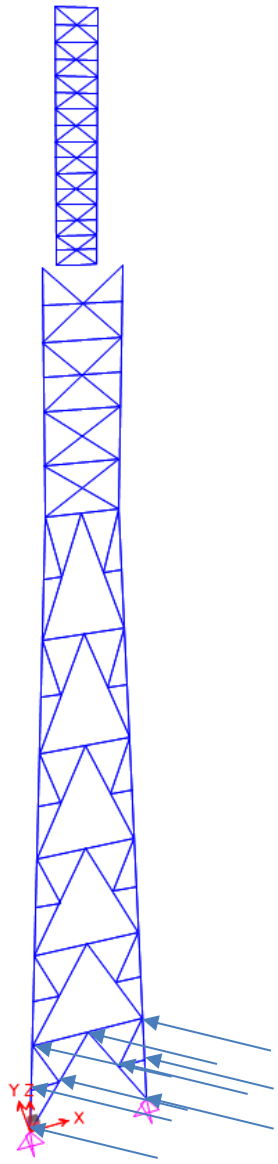


Figura 4.1.11 Carga de viento en tramo 1



110.7486 kg, en cada nodo de torre de primer tramo

Figura 4.1.12 Carga de viento en nodos tramo 1

TRAMO 2 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo, 10 metros

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

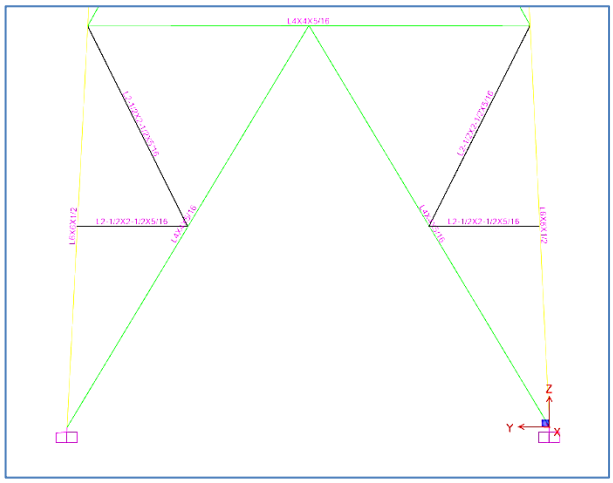


Figura 4.1.13 Tramo 2

$$Ztop = 10\,m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6”)

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 4”)

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.71 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.16 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.00 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.508 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 8.00 m (suma de longitudes de celosía) = 0.508 m2

Aat =3.70 m2

$Atot$ = área total del tramo.

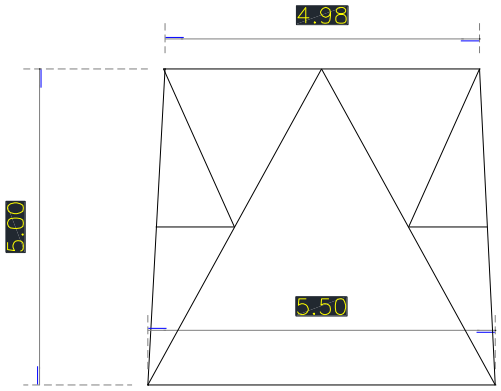


Figura 4.1.14 Geometría tramo 2

$$Atot = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor + base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$Atot = \frac{(\mathbf{5.5 + 5.0})\ \mathbf{5.00}}{\mathbf{2}} = \mathbf{26.25\ m2}$$

$$\varphi = \frac{3.70}{26.25} = 0.1409$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(3.5 - 2.8)(0.1409 - 0.2)}{(0.1 - 0.2)} + 2.8 = 3.2137$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = 0.881 \qquad si\ 10 \leq 10$$

$$V_D = 1.2 * 0.881 * 106.5$$

$$V_D = 112.59\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 112.59^2$$

$$q_z = 61.95$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 61.95\ kg/m2$$

$$C_{at} = 3.2137$$

$$Aat = 3.70\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 61.95 * 3.2137 * 3.70 * 1.2935 = 952.828\ kg$$

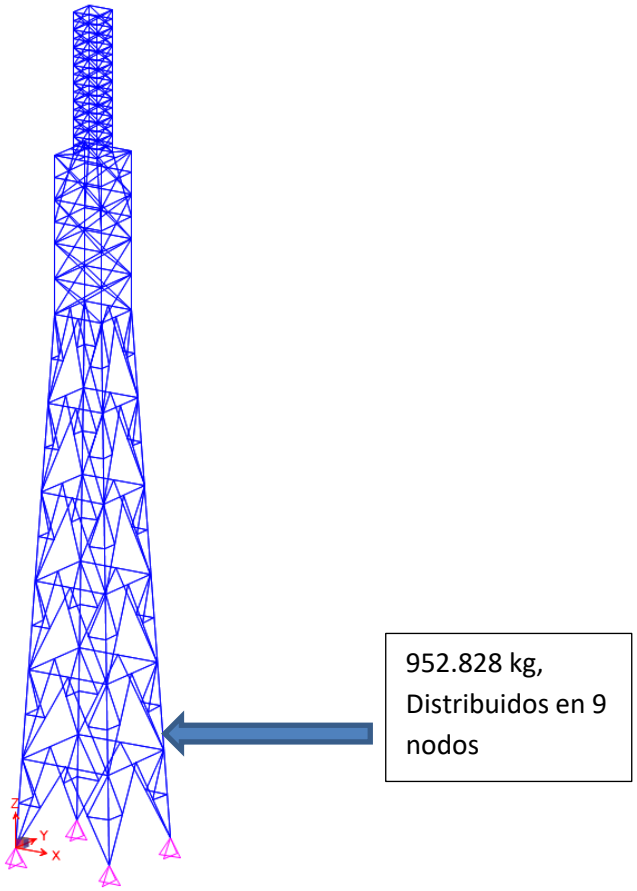


Figura 4.1.15 Carga de viento en tramo 2

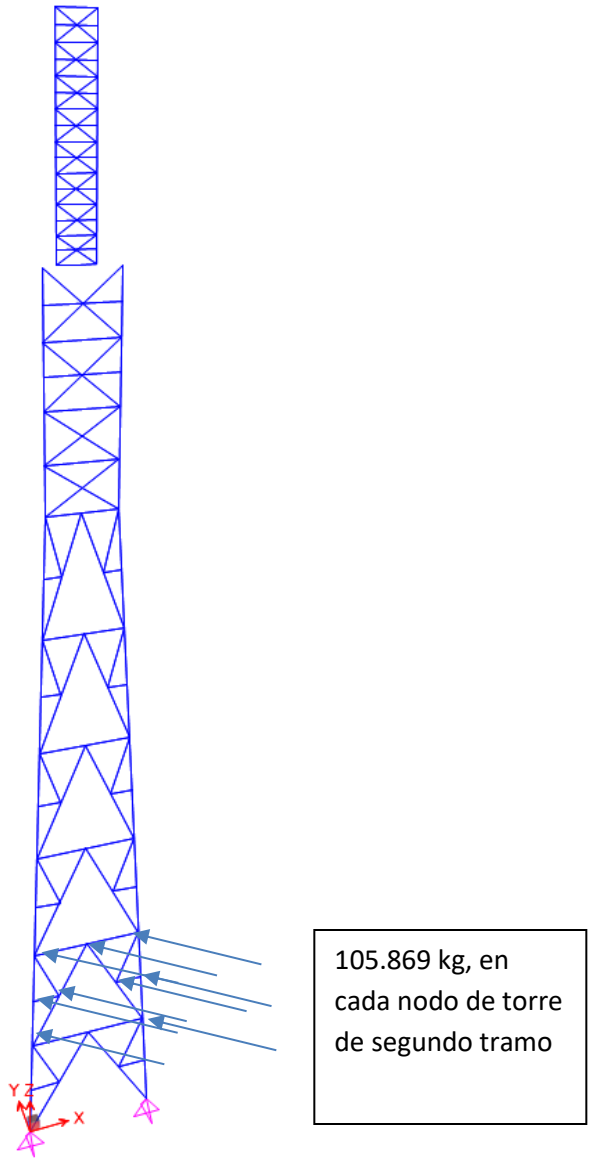


Figura 4.1.16 Carga de viento en nodos tramo 2

TRAMO 3 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

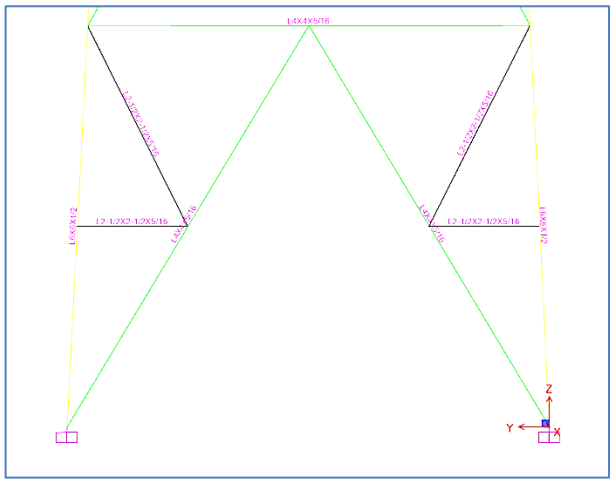


Figura 4.1.17 Tramo 3

$$Ztop = 15\ m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6”)

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 4”)

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.59 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.1358 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 4.50 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.4572 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 7.64 m (suma de longitudes de celosía) = 0.4851 m2

Suma de áreas solidas=1.524+1.1358+0.4572+0.4871=3.60 m2

$$Aat = 3.60\, m2$$

$Atot =$ área total del tramo.

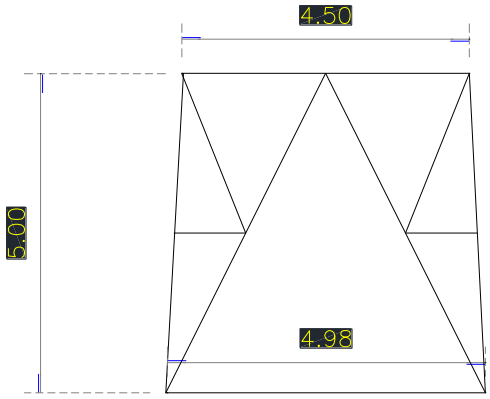


Figura 4.1.18 Geometría tramo 3

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor} + \boldsymbol{base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\mathbf{5.0} + \mathbf{4.50})\ \mathbf{5.00}}{\mathbf{2}} = \mathbf{23.75\ m2}$$

$$\varphi = \frac{3.60}{23.75} = 0.1515$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(3.5 - 2.8)(0.1515 - 0.2)}{(0.1 - 0.2)} + 2.8 = 3.1395$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{15}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 15 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{15}{10}\right)^{0.156} = 0.9385$$

$$V_D = 1.2 * 0.9385 * 106.5$$

$$V_D = 119.94\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 119.94^2$$

$$q_z = 70.30\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 70.30\ kg/m2$$

$$C_{at} = 3.1395$$

$$Aat = 3.60\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 70.30 * 3.1395 * 3.60 * 1.2935 = 1027.7435\ kg$$

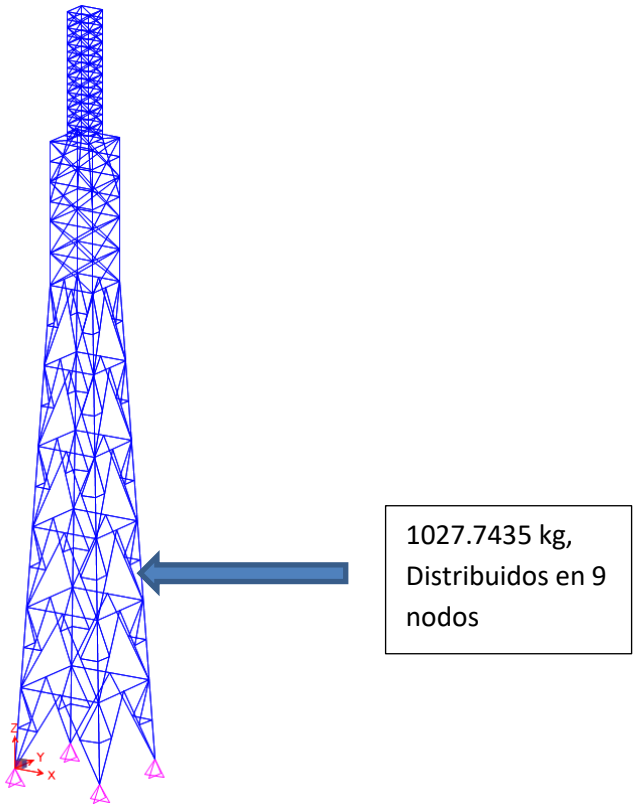


Figura 4.1.19 Carga de viento en tramo 3

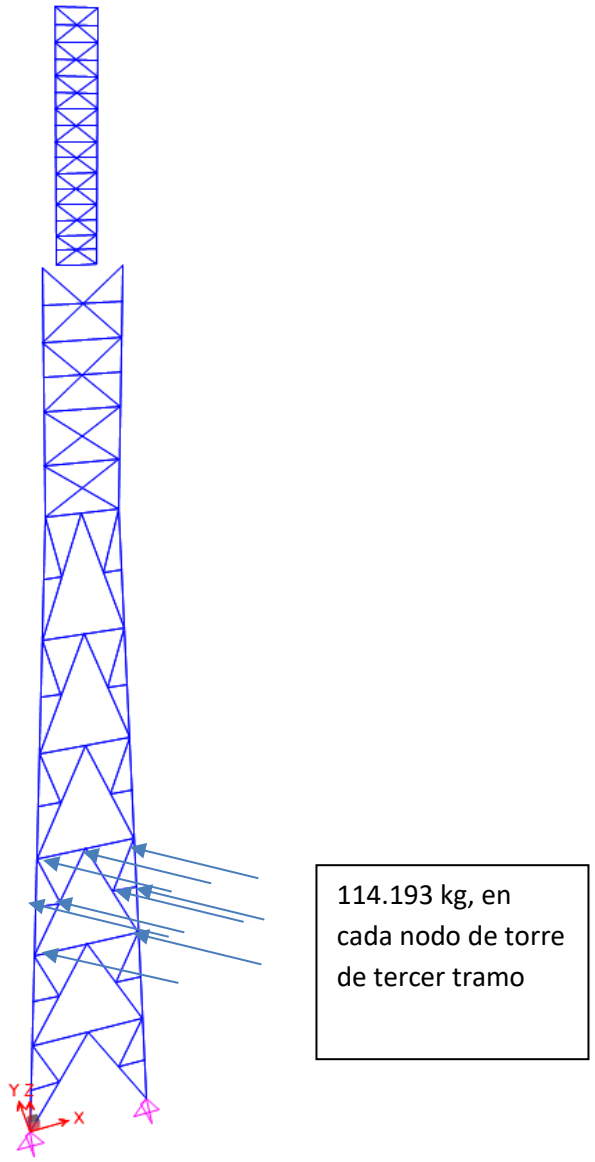


Figura 4.1.20 Carga de viento en nodos tramo 3

TRAMO 4 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

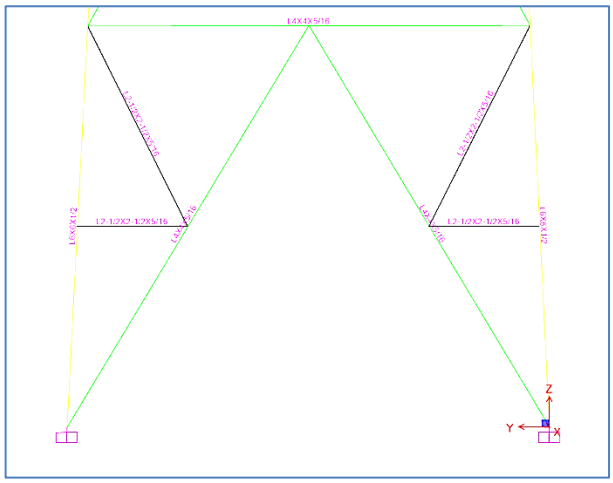


Figura 4.1.21 Tramo 4

$$Ztop = 20\,m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6")

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.48 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.1135 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 4.00 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.4064 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 7.30 m (suma de longitudes de celosía) = 0.4635 m2

Suma de áreas solidas=1.524+1.1135+0.4064+0.4635=3.50 m2

$$Aat = 3.50$$

$Atot$ = área total del tramo.

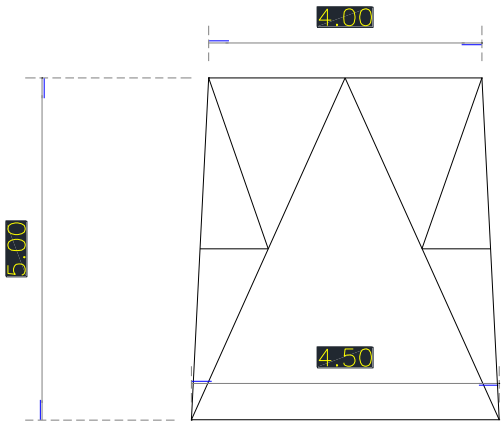


Figura 4.1.22 Geometría tramo 4

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor} + \boldsymbol{base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\mathbf{4.50} + \mathbf{4.00})\ \mathbf{5.00}}{\mathbf{2}} = \mathbf{21.25\ m2}$$

$$\varphi = \frac{3.50}{21.25} = 0.1647$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(3.5 - 2.8)(0.1647 - 0.2)}{(0.1 - 0.2)} + 2.8 = 3.0471$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{20}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 20 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{20}{10}\right)^{0.156} = 0.9816$$

$$V_D = 1.2 * 0.9816 * 106.5$$

$$V_D = 125.448\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 125.448^2$$

$$q_z = 76.91\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 76.91\ kg/m2$$

$$C_{at} = 3.0471$$

$$Aat = 3.50\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 76.91 * 3.0471 * 3.50 * 1.2935 = 1060.97\ kg$$

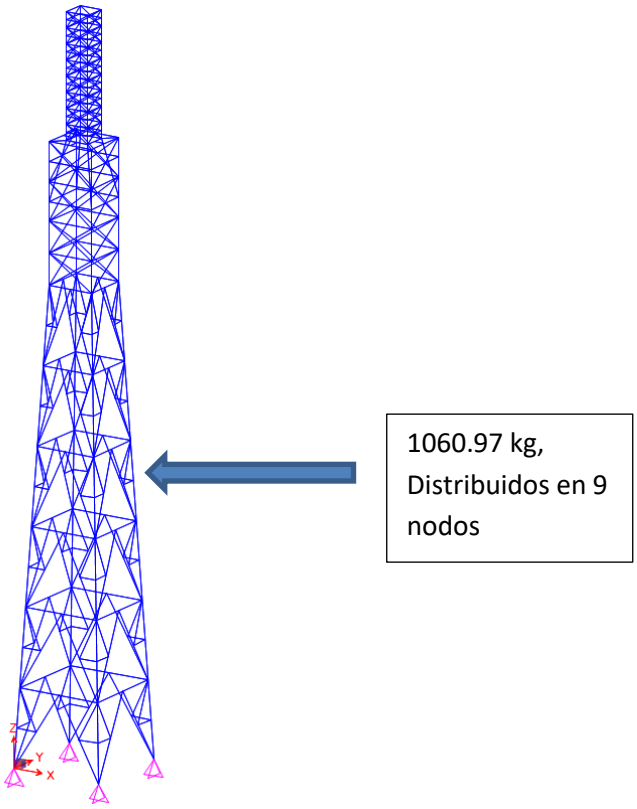


Figura 4.1.23 Carga de viento en tramo 4

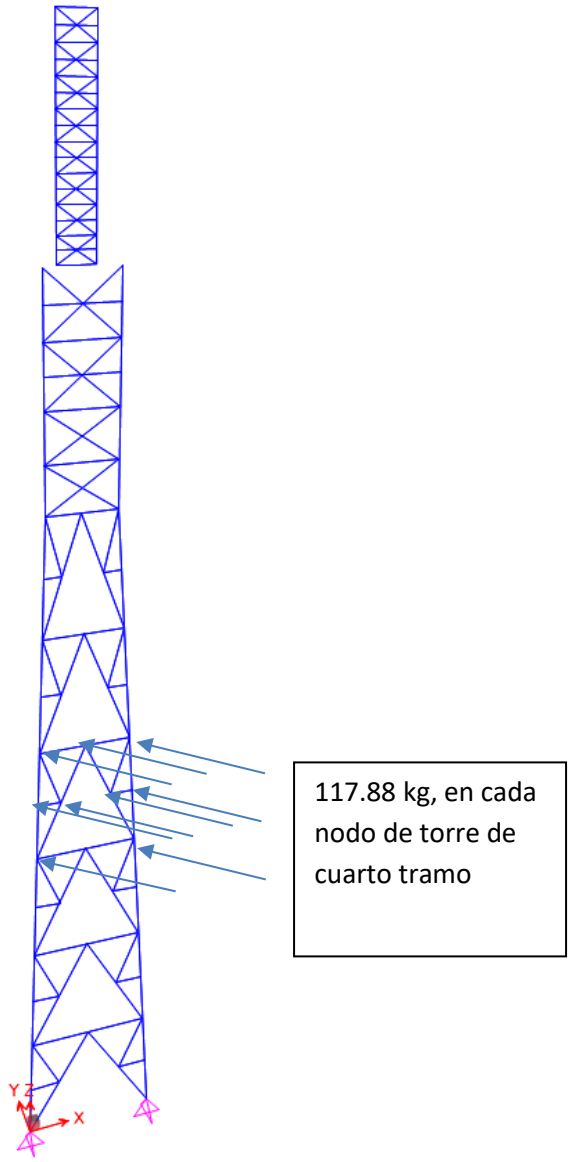


Figura 4.1.24 Carga de viento en nodos tramo 4

TRAMO 5 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

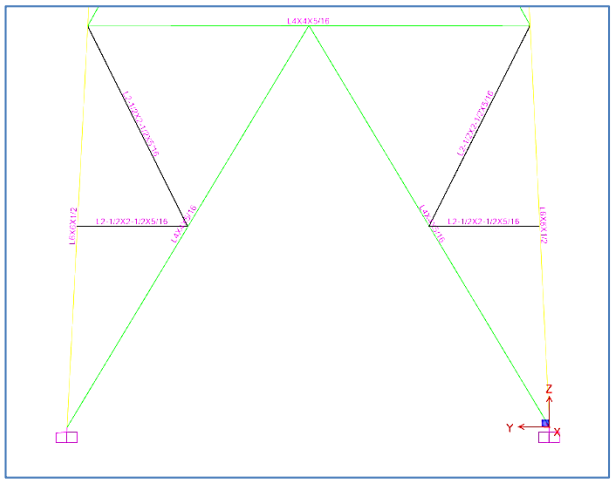


Figura 4.1.25 Tramo 5

$$Ztop = 25\ m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6")

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.40 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.09 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 3.50 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.3556 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 6.95 m (suma de longitudes de celosía) = 0.4413 m2

Suma de áreas solidas=1.524+1.09+0.3556+0.4413=3.41 m2

$$Aat = 3.41\, m2$$

$Atot =$ área total del tramo.

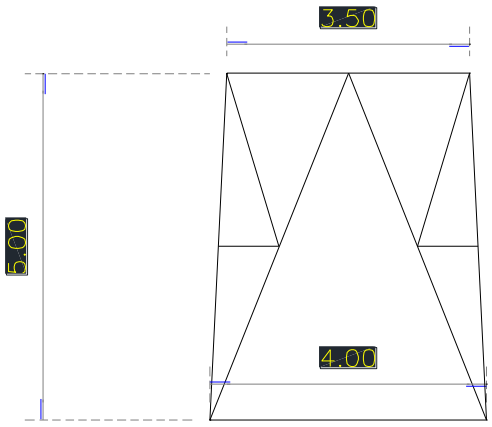


Figura 4.1.26 Geometría tramo 5

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor} + \boldsymbol{base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\mathbf{3.50} + \mathbf{4.00})\ \mathbf{5.00}}{\mathbf{2}} = \mathbf{18.75\ m2}$$

$$\varphi = \frac{3.41}{18.75} = 0.1818$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(3.5 - 2.8)(0.1818 - 0.2)}{(0.1 - 0.2)} + 2.8 = 2.92$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{25}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 25 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{25}{10}\right)^{0.156} = 1.0163$$

$$V_D = 1.2 * 1.0163 * 106.5$$

$$V_D = 129.88\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 129.88^2$$

$$q_z = 82.44\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 82.44\ kg/m2$$

$$C_{at} = 2.92$$

$$Aat = 3.41\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 82.44 * 2.92 * 3.41 * 1.2935 = 1061.79\ kg$$

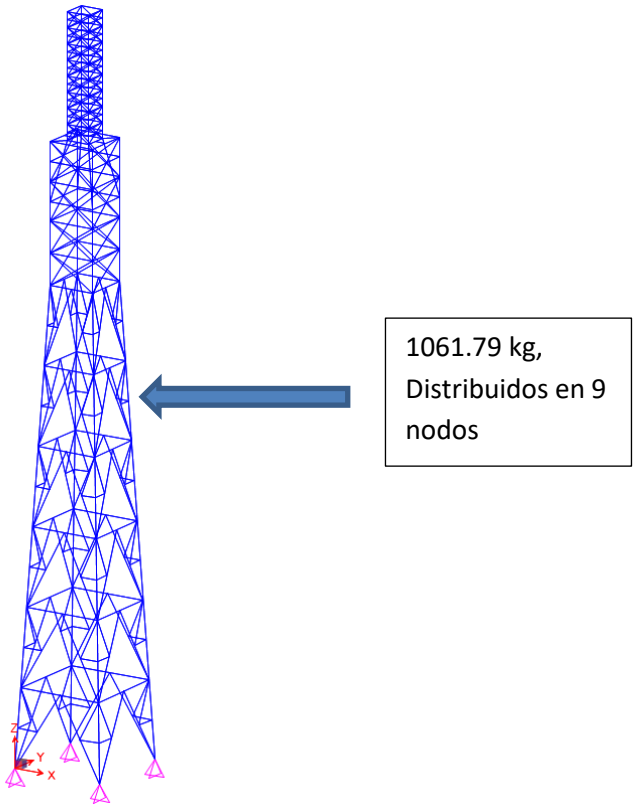


Figura 4.1.27 Carga de viento en tramo 5

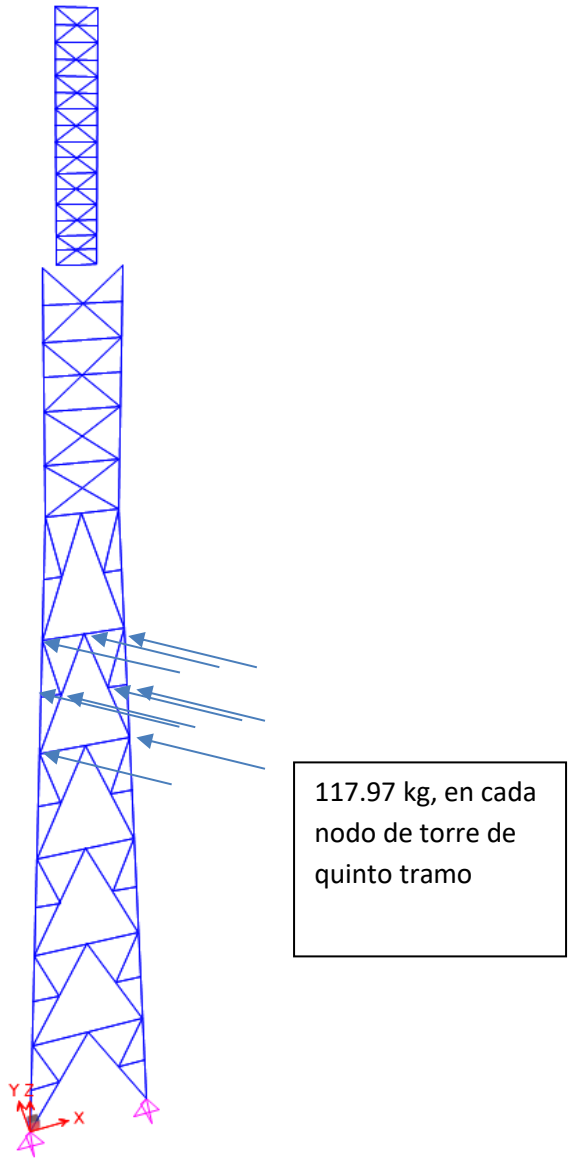


Figura 4.1.28 Carga de viento en nodos tramo 5

TRAMO 6 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

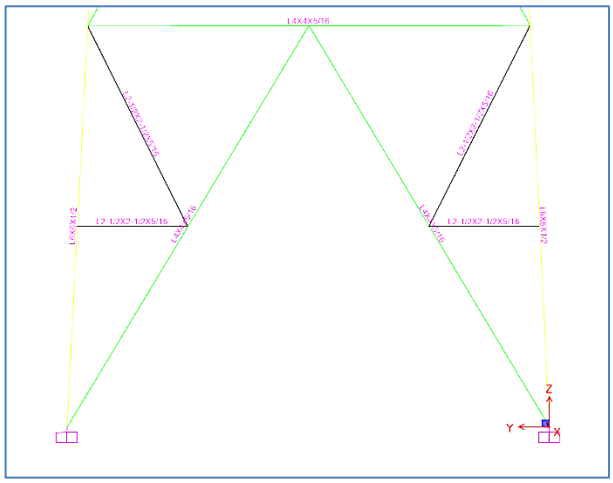


Figura 4.1.29 Tramo 6

$$Ztop = 30\,m$$

$$Aat =$$

Piernas.

(las piernas se componen de ángulos LI de 6")

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 5 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.524 m2

Diagonales Principales.

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 5.30 m (diagonal)*2(2 diagonales) = 1.07 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 3.00 m (diagonal)*1(1 horizontal) = 0.3048 m2

Celosía

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 6.64 m (suma de longitudes de celosía) = 0.4216 m2

Suma de áreas solidas=1.524+1.07+0.3048+0.4216=3.32 m2

$$Aat = 3.32\, m2$$

$Atot =$ área total del tramo.

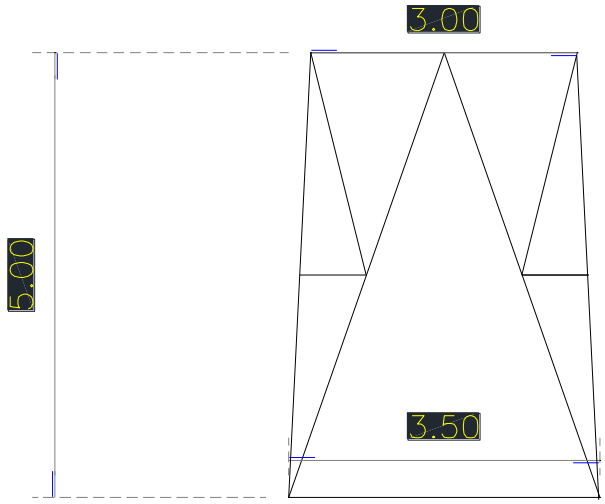


Figura 4.1.30 Geometría tramo 6

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\boldsymbol{base\ mayor} + \boldsymbol{base\ menor})\ \boldsymbol{altura}}{\mathbf{2}}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo} = \frac{(\mathbf{3.50} + \mathbf{3.00})\ \mathbf{5.00}}{\mathbf{2}} = \mathbf{16.25}\ \boldsymbol{m2}$$

$$\varphi = \frac{3.32}{16.25} = 0.2043$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(2.8 - 2.5)(0.2043 - 0.3)}{(0.2 - 0.3)} + 2.5 = 2.78$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{30}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 30 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{30}{10}\right)^{0.156} = 1.045$$

$$V_D = 1.2 * 1.045 * 106.5$$

$$V_D = 133.55\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 133.55^2$$

$$q_z = 87.169\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 87.169\ kg/m2$$

$$C_{at} = 2.78$$

$$Aat = 3.32\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 87.169 * 2.78 * 3.32 * 1.2935 = 1040.66\ kg$$

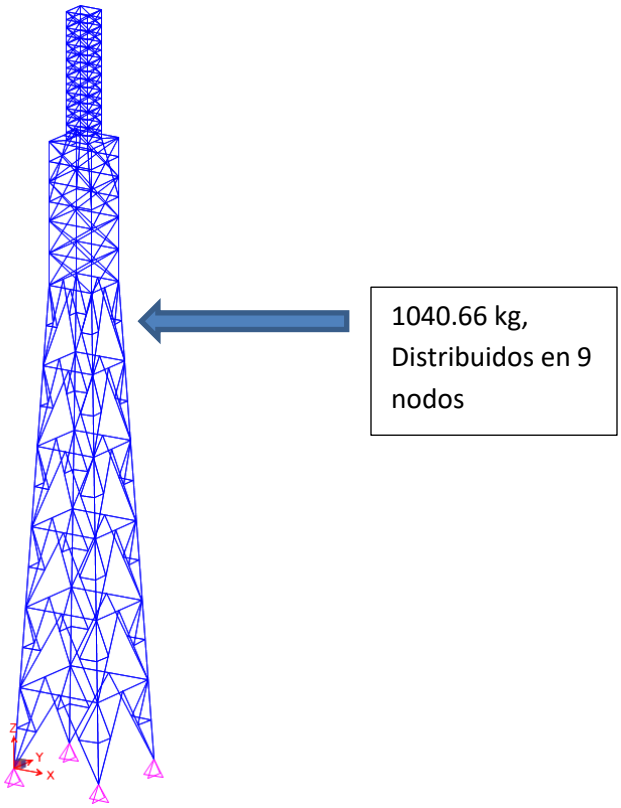


Figura 4.1.31 Carga de viento en tramo 6

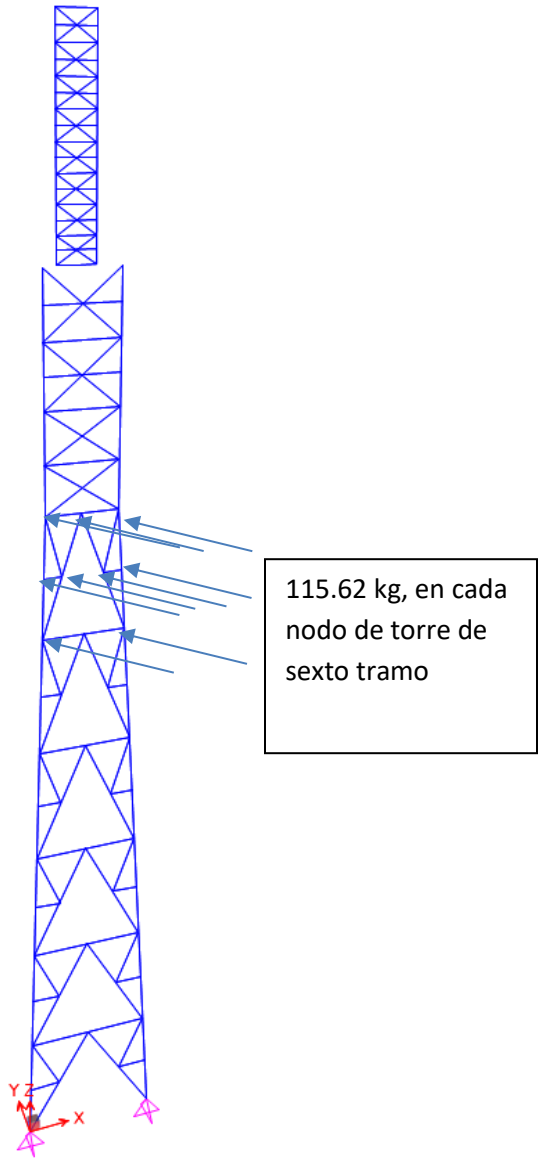


Figura 4.1.32 Carga de viento en nodos tramo 6

TRAMO 7 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

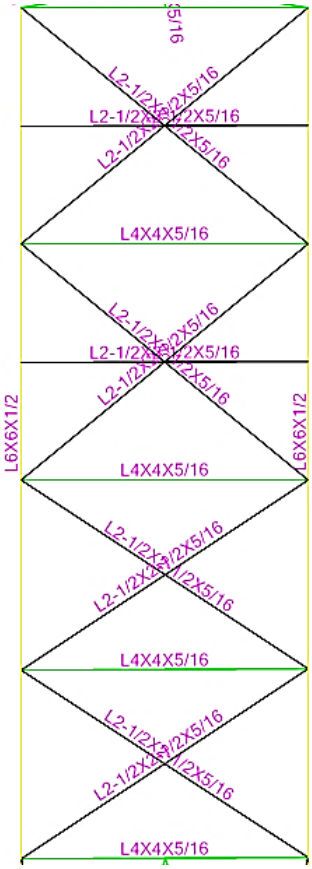


Figura 4.1.33 Tramo 7

$$Ztop = 39\,m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 6")

6 In*0.0254 m (conversión a m) * 9 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 2.7432 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 2.5")

2 ½" In*0.0254 m (conversión a m) * 3.60 m (diagonal)*8(8 diagonales) = 1.82 m2

Horizontal Principal

(Se componen de ángulos Li 4")

4 In*0.0254 m (conversión a m) * 3.00 m (diagonal)*4(4 horizontal) = 1.2192 m2

Horizontal secundario

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 3.0 m (diagonal)*2(2 horizontal) = 0.381 m2

Suma de áreas solidas=2.7432+1.82+1.2192+0.381=6.1634 m2

$$Aat = 6.1634\ m2$$

$$Atot = \text{ área total del tramo.}$$

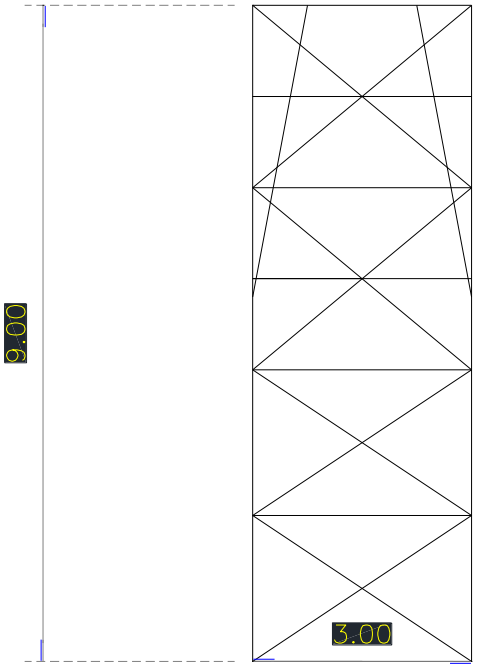


Figura 4.1.34 Geometría tramo 7

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo = B * H}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo = 9 * 3 = 27\ m2}$$

$$\varphi = \frac{6.1634}{27} = 0.2282$$

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(2.8 - 2.5)(0.2282 - 0.3)}{(0.2 - 0.3)} + 2.5 = 2.7154$$

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{39}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 39 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{39}{10}\right)^{0.156} = 1.089$$

$$V_D = 1.2 * 1.089 * 106.5$$

$$V_D = 139.17\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 139.17^2$$

$$q_z = 94.65\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 94.65\ kg/m2$$

$$C_{at} = 2.7154$$

$$Aat = 6.1634\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 94.65 * 2.7154 * 6.1634 * 1.2935 = 2048.99\ kg$$

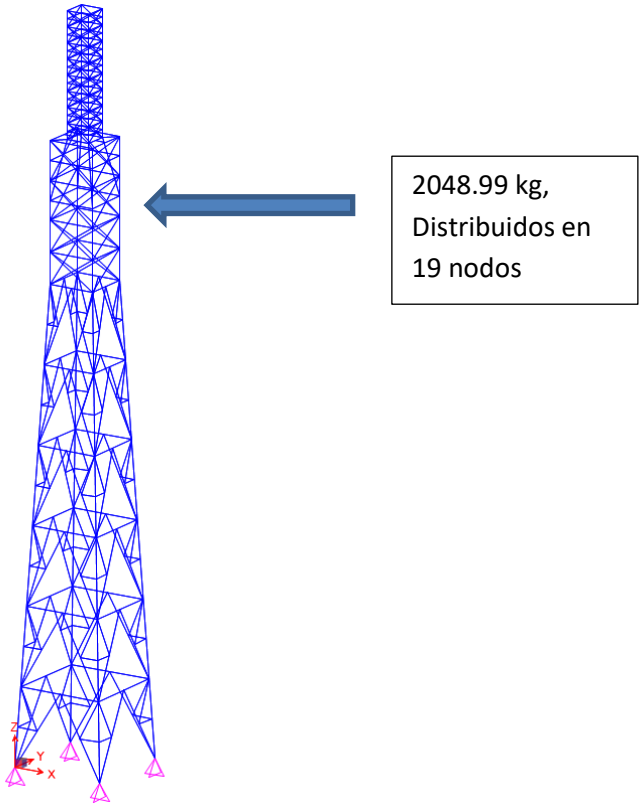
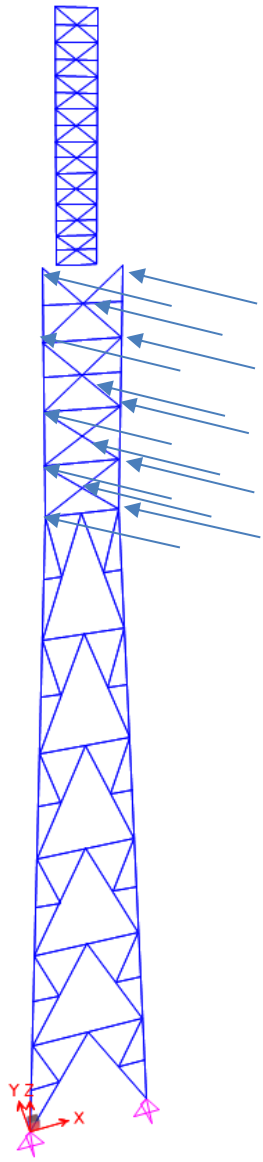


Figura 4.1.35 Carga de viento en tramo 7



107.84 kg, en cada nodo de torre de séptimo tramo

Figura 4.1.36 Carga de viento en nodos tramo 7

TRAMO 8 DE TORRE.

Lo que se necesita obtener para continuar con el análisis es:

$Ztop =$ altura de tramo.

$Aat =$ área solida del tramo (área de piernas y celosía)

$Atot =$ área total del tramo.

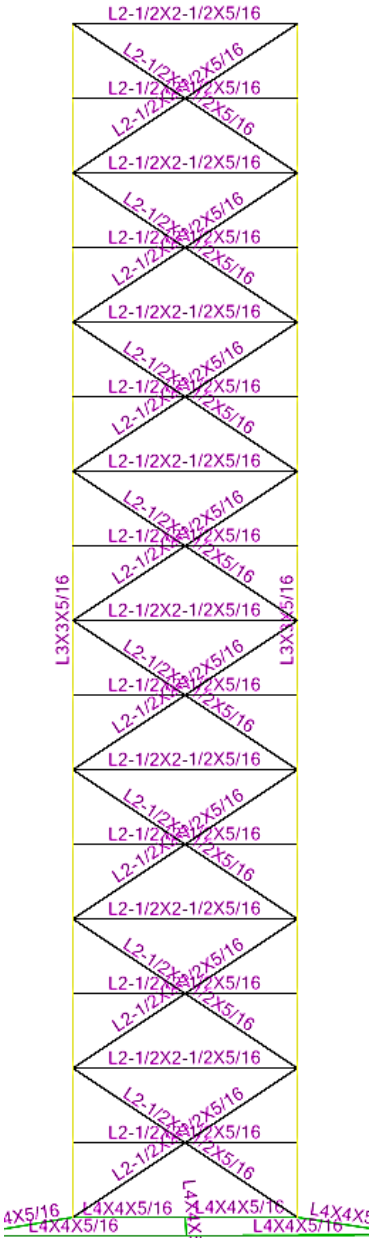


Figura 4.1.37 Tramo 8

$$Ztop = 39\,m$$

$$Aat =$$

Piernas

(las piernas se componen de ángulos LI de 3")

3 In*0.0254 m (conversión a m) * 8 m (altura de pata) *2(2 patas por cara) = 1.2192 m2

Diagonales Principales

(Se componen de ángulos Li 2.5")

2 ½" In*0.0254 m (conversión a m) * 1.8 m (diagonal)*16(16 diagonales) = 1.82 m2

Horizontal principal

(Se componen de ángulos Li 2 ½"")

2.5 In*0.0254 m (conversión a m) * 1.50 m (diagonal)*16(16 horizontal) = 1.524 m2

Suma de áreas solidas=1.2192+1.82+1.524=4.5632 m2

$$Aat = 4.5632\,m2$$

$Atot$ = área total del tramo.

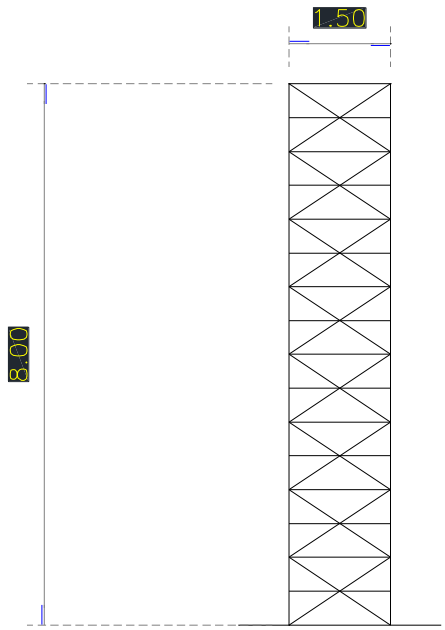


Figura 4.1.38 Geometría tramo 8

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo = B * H}$$

$$\boldsymbol{Area\ de\ tramo = 8 * 1.5 = 12\ m2}$$

$$\varphi = \frac{4.5632}{12} = 0.38$$

De acuerdo a tabla de coeficientes de arrastre.

COEFICIENTE DE ARRASTRE, Ca, PARA TORRES DE CELOSÍA. SECCIÓN TRANSVERSAL CUADRADA Y TRIANGULAR EQUILÁTERA CON MIEMBROS DE LADOS PLANOS			
Relación de solidez de la cara frontal (ϕ)	Coeficiente de arrastre (Ca)		
	Torres de sección cuadrada		Torres de sección triangular equilátera
	sobre una cara	sobre una esquina	
>=0.1	3.5	3.9	3.1
0.2	2.8	3.2	2.7
0.3	2.5	2.9	2.3
0.4	2.1	2.6	2.1
>=0.5	1.8	2.3	1.9

Tabla referenciada anteriormente

Se deberá interpolar para tener el coeficiente de arrastre correcto.

$$C_{at} = \frac{(X_0 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{Y_0 - Y_2}$$

Formula de interpolación.

$$C_{at} = \frac{(2.5 - 2.1)(0.38 - 0.4)}{(0.3 - 0.4)} + 2.1 = 2.18$$

RESUMEN DE RESULTADOS EN TRAMOS.

TRAMO	Ztop	Aat	Atot	ϕ	Cat
1	5	3.7969	28.75	0.132	3.276
2	10	3.7	26.25	0.1409	3.2137
3	15	3.6	23.75	0.1515	3.1395
4	20	3.5	21.25	0.1647	3.0471
5	25	3.41	18.75	0.1818	2.92
6	30	3.32	16.25	0.2043	2.78
7	39	6.1634	27	0.2282	2.7154
8	47	4.5632	12	0.38	2.18

Tabla 4.2.9 Resumen de resultados por tramos para análisis de torre.

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{Tot} F_{AD}$$

$$F_{rz} = factor\ de\ exposicion.$$

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

Z= Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α=Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ= la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

C= es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

Ft= Factor de la topografía del lugar

Frz= factor de exposición

VR= velocidad regional, 106.5 km/hr

PRESION DINAMICA DE BASE, qz.

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

qz= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

VD= Velocidad básica de diseño.

G= Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

FUERZAS EN TORRE ANALISIS DE VIENTO.

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Se utilizará esta fórmula ya que es la que cumple con la condición.

$$F_{rz} = c\left(\frac{47}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 47 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{47}{10}\right)^{0.156} = 1.1215$$

$$V_D = 1.2 * 1.1215 * 106.5$$

$$V_D = 143.32\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 143.32^2$$

$$q_z = 100.38\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 100.38\ kg/m2$$

$$C_{at} = 2.18$$

$$Aat = 4.5632\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 100.38 * 2.18 * 4.5632 * 1.2935 = 1291.6344\ kg$$

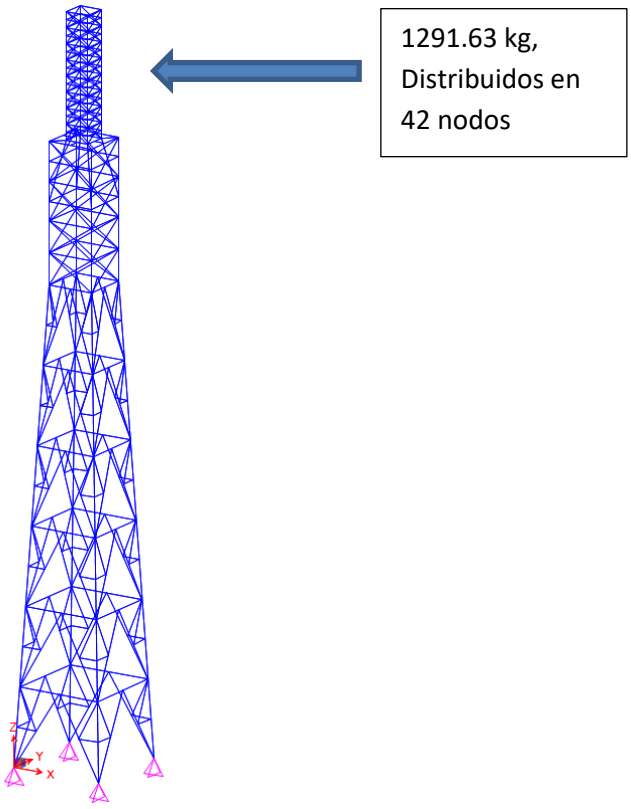


Figura 4.1.39 Carga de viento en tramo 8

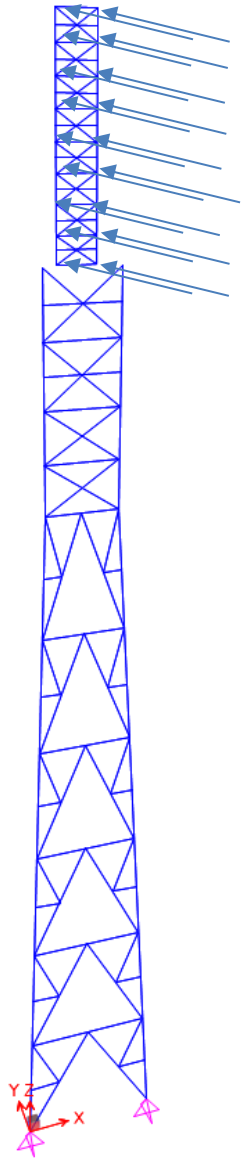


Figura 4.1.40 Carga de viento en nodos tramo 8

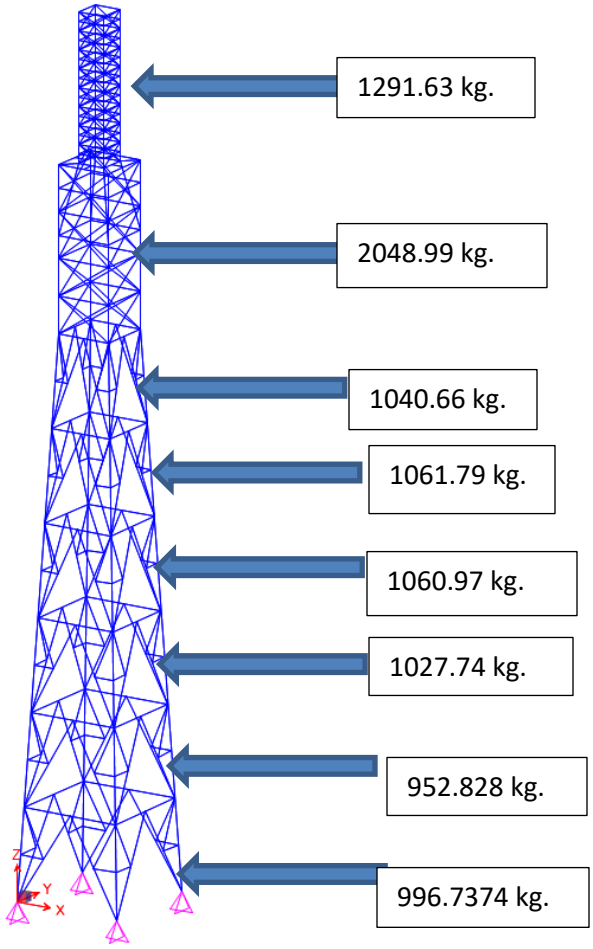


Figura 4.1.41 Carga de viento tramos de antena

Fuerza de viento en Antenas.

Otro punto importante es obtener las fuerzas de viento que generan las superficies de las antenas por eso es importante conocer el coeficiente de arrastre, que viene en la siguiente tabla para los diferentes ángulos, se debe conocer la superficie de la antena para tener el área de contacto, se deberá saber la altura del accesorio para obtener el factor de corrección por exposición, teniendo el factor y el tipo de terreno se puede obtener la velocidad de diseño y posteriormente la presión dinámica, a continuación se muestran los pasos.

Antenas y Soportes								
MW= MICRO ONDAS, RF=REFLECTORA								
ID	Tipo	H (m)	b(m)	d(m)	peso (kg)	pierna	Azimut	z(m)
4	MW	0.6			15	A		14.98
5	MW	0.6			15	A		15.5
6	MW	2			95	A		17.65
7	MW	2			95	A		23.42
8	MW	0.6			15	A		24.5
9	RF	2.4	0.27	0.13	50	A		32.98
10	MW	1.2			45	B		10
11	RF	1.2	0.17	0.07	45	B		12.5
12	MW	1.2			45	B		15
13	MW	0.6			15	B		17.25
14	MW	0.6			15	B		19
15	MW	0.6			15	B		19.51
16	MW	0.6			15	B		25.7
17	MW	0.6			15	B		25.7
18	MW	0.6			15	B		26.45
19	MW	0.6			15	B		27.7
20	MW	0.6			15	B		27.7
21	MW	0.6			15	B		28.3
22	RF	2.4	0.27	0.13	50	B		29.34
23	RF	1.3	0.27	0.1	45	B		44.23
24	MW	0.6			15	C		9.2
25	RF	1.3	0.27	0.1	50	C		19.33
26	RF	1.3	0.27	0.1	50	C		19.33
27	MW	1.2			45	C		21.5
28	MW	0.6			15	C		26.2
29	RF	1.2	0.17	0.1	45	C		29
30	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		22.5
31	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		22.5
32	MW	0.6			15	D		27.12
33	RF	1.3	0.27	0.07	50	D		27.9

Tabla 4.2.10 Antenas Instaladas en Torre Ensenada.

1.- Conocer la altura donde estará ubicada la antena.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

$F_{rz} = factor\ de\ exposicion.$

$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$

$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < 10$

$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

$Ft =$ Factor de la topografía del lugar

$Frz =$ factor de exposición

$VR =$ velocidad regional, 106.5 km/hr

PRESION DINAMICA DE BASE, qz.

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$qz =$ Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

$VD =$ Velocidad básica de diseño.

$G =$ Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

Se deberá conocer el coeficiente de arrastre, como se muestra en la siguiente tabla, todas las antenas se considerarán a cero grados ya que es la condición más crítica y no se conoce las orientaciones de estas.

Angulo de incidencia del viento (grados)	Ca
0	1.55808
10	1.5391
20	1.5469
30	1.5547
40	1.5938
50	1.6641
60	1.6484
70	1.3672
80	0.7617
90	-0.0117
100	-0.4023
110	-0.4609
120	-0.457
130	-0.4688
140	-0.5742
150	-0.7734
160	-0.8672
170	-0.9453
180	-1.0547
190	-0.9453
200	-0.8672
210	-0.7734
220	-0.5742
230	-0.4688
240	-0.457
250	-0.4609
260	-0.4023
270	-0.0117
280	0.7617
290	1.3672
300	1.6484
310	1.6641
320	1.5938
330	1.5547
340	1.5469
350	1.5391

Tabla 4.2.11 Coeficientes de arrastre para antenas de telecomunicación.

Y la fuerza en dirección de viento se obtiene como:

$$F_{am} = q_z G_h C_a A_a$$

Como se están obteniendo los efectos sobre la torre.

$$G_h = F_{AD}.$$

Se utilizará el mismo factor de amplificación dinámica que la de la torre.

Como no se conoce la orientación de las antenas en la torre, se supondrán las antenas en cada dirección de viento analizada perpendicular a la acción del viento

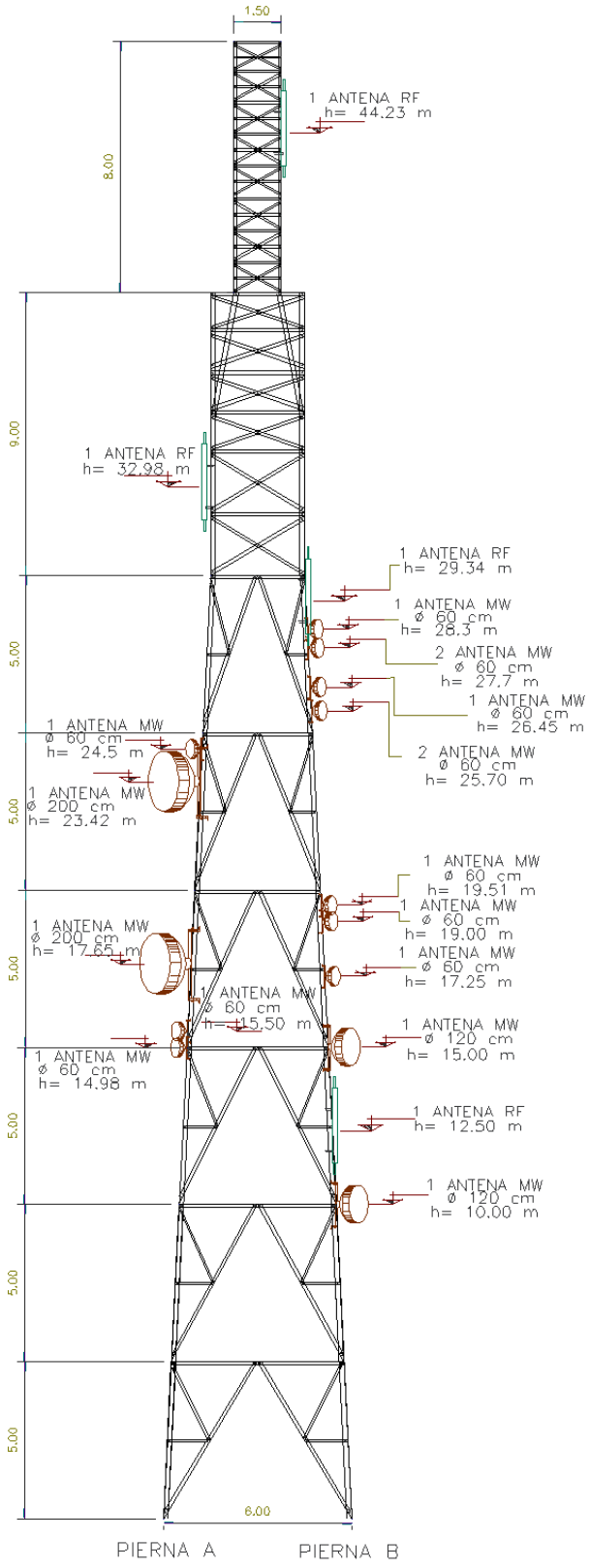


Figura 4.1.42 Ubicación de antenas en torre

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

q_z= Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno.

V_D= Velocidad básica de diseño.

G = Factor de corrección por temperatura y por altura respecto al nivel del mar.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

En donde:

F_T= Factor de la topografía del lugar, 1.2

F_{rz}= factor de exposición

V_R= velocidad regional, 106.5 km/hr

$$F_{rz} = c \qquad si\ z \leq 10$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad si\ z \geq \delta$$

En donde:

z = Es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño.

α =Es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del ciento con la altura.

δ = la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente.

c = es el coeficiente de la escala de rugosidad.

CATEGORIA DEL TERRENO	VALORES DE α, δ y c		
	α	δ(m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1
3	0.156	390	0.881
4	0.17	455	0.815

Tabla referenciada anteriormente

Pierna A

Antena mw 60 cm de circunferencia, altura 14.98 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{14.98}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 14.98 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{14.98}{10}\right)^{0.156} = 0.9383$$

$$V_D = 1.2 * 0.9383 * 106.5$$

$$V_D = 119.91\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 119.91^2$$

$$q_z = 70.27\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 70.27\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 70.27 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 39.82\ kg$$

Antena mw 60 cm de circunferencia, altura 15.50 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{15.50}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 15.50 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{15.50}{10}\right)^{0.156} = 0.9433$$

$$V_D = 1.2 * 0.9433 * 106.5$$

$$V_D = 120.55\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 120.55^2$$

$$q_z = 71.02\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 71.02\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 71.02 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 40.25\ kg$$

Antena mw 200 cm de circunferencia, altura 17.65 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{17.65}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 17.65 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{17.65}{10}\right)^{0.156} = 0.9626$$

$$V_D = 1.2 * 0.9626 * 106.5$$

$$V_D = 123.02\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 123.02^2$$

$$q_z = 73.96\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 73.96\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 3.1416\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 73.96 * 1.55 * 3.1416 * 1.2935 = 465.849\ kg$$

Antena mw 200 cm de circunferencia, altura 23.42 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{23.42}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 23.42 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{23.42}{10}\right)^{0.156} = 1.006$$

$$V_D = 1.2 * 1.006 * 106.5$$

$$V_D = 128.56\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 128.56^2$$

$$q_z = 80.77\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 80.77\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 3.1416\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 80.77 * 1.55 * 3.1416 * 1.2935 = 508.7437\ kg$$

Antena mw 60 cm de circunferencia, altura 24.5 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{24.5}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 24.5 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{24.5}{10}\right)^{0.156} = 1.0131$$

$$V_D = 1.2 * 1.0131 * 106.5$$

$$V_D = 129.47\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 129.47^2$$

$$q_z = 81.924\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 81.924\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 81.924 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 46.43\ kg$$

Antena RF 240x27 cm, altura 32.98 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{32.98}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 32.98 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{32.98}{10}\right)^{0.156} = 1.0612$$

$$V_D = 1.2 * 1.0612 * 106.5$$

$$V_D = 135.62\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 135.62^2$$

$$q_z = 89.89\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 89.89\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.648\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 89.89 * 1.55 * 0.648 * 1.2935 = 116.784\ kg$$

Pierna B

Antena mw 120 cm de circunferencia, altura 10 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{10}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{10}{10}\right)^{0.156} = 0.881$$

$$V_D = 1.2 * 0.881 * 106.5$$

$$V_D = 112.59\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 112.59^2$$

$$q_z = 61.95\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 61.95\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 1.13\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 61.95 * 1.55 * 1.13 * 1.2935 = 140.3517\ kg$$

Antena RF 120 cm, altura 12.5 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{12.5}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 12.50 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{12.50}{10}\right)^{0.156} = 0.9122$$

$$V_D = 1.2 * 0.9122 * 106.5$$

$$V_D = 116.57\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 116.57^2$$

$$q_z = 66.41\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 66.41\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.204\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 66.41 * 1.55 * 0.204 * 1.2935 = 27.162\ kg$$

Antena mw 120 cm, altura 15 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{15}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 15 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{15}{10}\right)^{0.156} = 0.9385$$

$$V_D = 1.2 * 0.9385 * 106.5$$

$$V_D = 119.9403\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 119.9403^2$$

$$q_z = 70.307\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 70.307\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 1.1309\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 70.307 * 1.55 * 1.1309 * 1.2935 = 159.41\ kg$$

Antena mw 60 cm, altura 17.25 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{17.25}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 17.25 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{17.25}{10}\right)^{0.156} = 0.9592$$

$$V_D = 1.2 * 0.9592 * 106.5$$

$$V_D = 122.58\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 122.58^2$$

$$q_z = 73.43\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 73.43\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 73.43 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 41.61\ kg$$

Antena mw 60 cm, altura 19.0 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{19.0}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 19.0 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{19.0}{10}\right)^{0.156} = 0.9737$$

$$V_D = 1.2 * 0.9737 * 106.5$$

$$V_D = 124.43\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 124.43^2$$

$$q_z = 75.67\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_t F_{AD}$$

$$q_z = 75.67\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$At = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 75.67 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 42.88\ kg$$

Antena mw 60 cm, altura 19.51 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{19.51}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 19.51 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{19.51}{10}\right)^{0.156} = 0.9778$$

$$V_D = 1.2 * 0.9778 * 106.5$$

$$V_D = 124.96\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 124.96^2$$

$$q_z = 76.31\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 76.31\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 76.31 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 43.25\ kg$$

2 antenas mw 60 cm, altura 25.7 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{25.7}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ 19.51 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{25.7}{10}\right)^{0.156} = 1.0207$$

$$V_D = 1.2 * 1.0207 * 106.5$$

$$V_D = 130.44\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 130.44^2$$

$$q_z = 83.156\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 83.156\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 83.156 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 47.132\ kg$$

1 antenas mw 60 cm, altura 26.45 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{26.45}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ \ 26.45 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{26.45}{10}\right)^{0.156} = 1.0253$$

$$V_D = 1.2 * 1.0253 * 106.5$$

$$V_D = 131.03\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 131.03^2$$

$$q_z = 83.914\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 83.9104\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 83.914 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 47.561\ kg$$

2 antenas mw 60 cm, altura 27.7 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{27.7}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ \ 27.7 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{27.7}{10}\right)^{0.156} = 1.032$$

$$V_D = 1.2 * 1.032 * 106.5$$

$$V_D = 131.88\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 131.88^2$$

$$q_z = 85.00\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 85.00\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 85.00 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 48.17\ kg$$

1 antenas mw 60 cm, altura 28.3 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{28.3}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ \ 28.3 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{28.3}{10}\right)^{0.156} = 1.036$$

$$V_D = 1.2 * 1.036 * 106.5$$

$$V_D = 132.42\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 132.42^2$$

$$q_z = 85.70\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 85.70\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.2827\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 85.70 * 1.55 * 0.2827 * 1.2935 = 48.57\ kg$$

1 antenas RF 240x27 cm, altura 29.34 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{29.34}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ \ 29.34 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{29.34}{10}\right)^{0.156} = 1.042$$

$$V_D = 1.2 * 1.042 * 106.5$$

$$V_D = 133.16\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048GV_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 133.16^2$$

$$q_z = 86.66\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 86.66\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.648\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 86.66 * 1.55 * 0.648 * 1.2935 = 112.58\ kg$$

1 antenas RF 130x27 cm, altura 44.23 metros.

$$F_{rz} = c\left(\frac{44.23}{10}\right)^{0.156} \qquad si\ \ 44.23 < z < \delta$$

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{44.23}{10}\right)^{0.156} = 1.11$$

$$V_D = 1.2 * 1.11 * 106.5$$

$$V_D = 141.85\ km/hr$$

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

$$G = \frac{0.392(750.96)}{273 + 16.1} = 1.0182$$

$$q_z = 0.0048 * 1.0182 * 141.85^2$$

$$q_z = 98.34\ kg/m2$$

$$F_{eq} = q_z C_{at} A_{at} F_{AD}$$

$$q_z = 98.34\ kg/m2$$

$$C_{at} = 1.55, (de\ tabla)$$

$$Aat = 0.351\ \text{m2}$$

$$F_{AD} = 1.2935$$

$$F_{eq} = 98.34 * 1.55 * 0.351 * 1.2935 = 69.20\ kg$$

Figura 4.1.42 Ubicación de antenas en torre

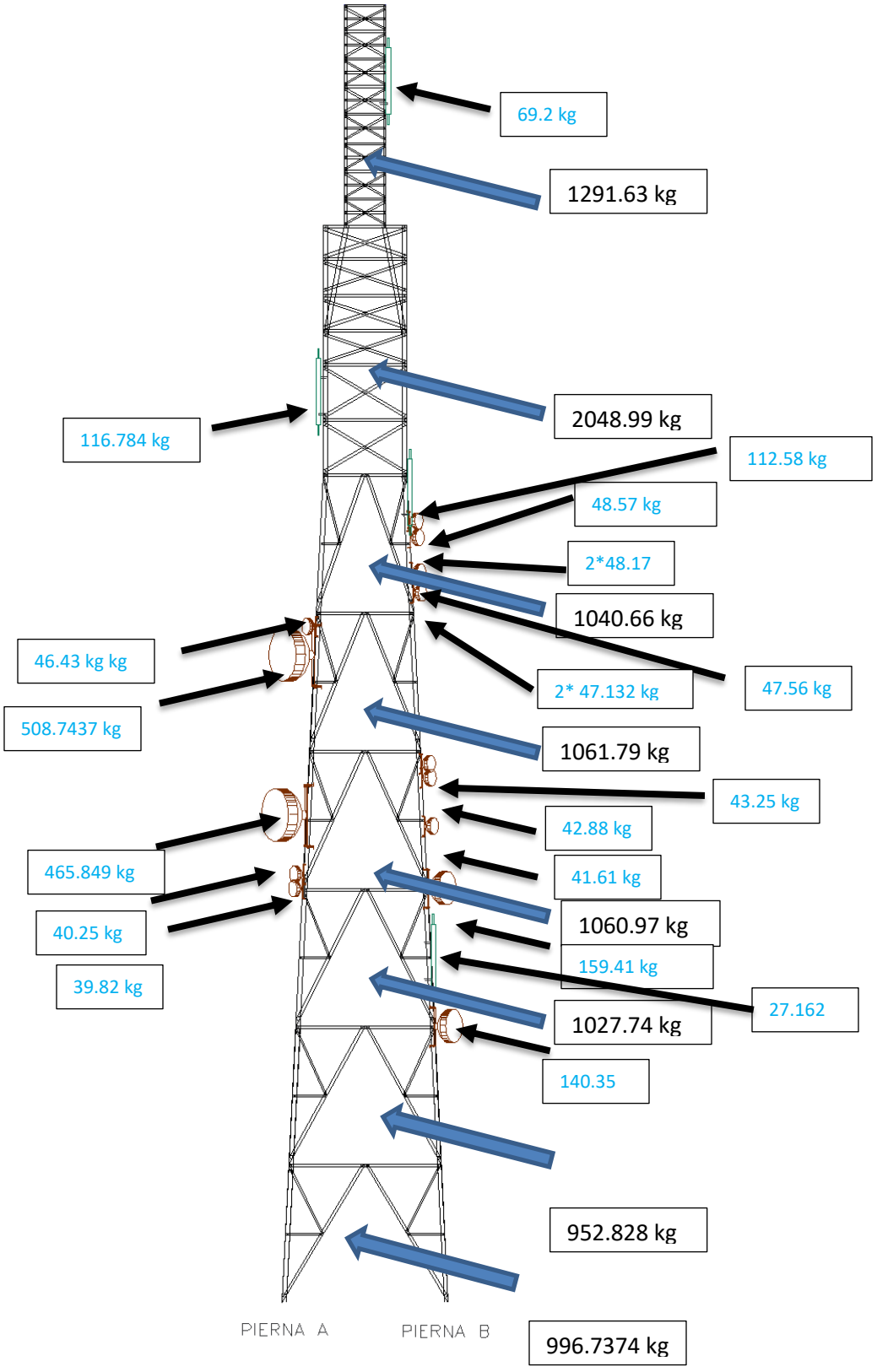


Figura 4.1.43 Fuerzas de viento en tramos y de antenas.

4.3 Análisis estructural por sismo.

Las torres de telecomunicación usualmente se diseñan considerando como única fuente de carga los efectos producidos por el viento, los efectos sísmicos, como una posible fuente de daño o perdida de servicio, suelen ser ignorados, aun en el diseño de estructuras localizadas en zonas de alta sismicidad, debido a su poca masa este tipo de estructuras son poco vulnerables a la acción sísmica.

Lo anterior puede ser razonable para torres pequeñas en zonas de baja sismicidad. Sin embargo, para estructuras altas en zonas de mediana a alta sismicidad se debe disponer de un procedimiento racional que permita justificar la omisión de los efectos sísmicos.

Las torres de telecomunicación deberán diseñarse utilizando un factor de comportamiento sísmico de Q=1, cuando se tengan estructuras construidas por elementos individuales capaces de desarrollar el comportamiento dúctil a flexión, con conexiones rígidas entre ellos.

En el diseño estructural pueden ignorarse los efectos sísmicos en aquellas torres que por su altura, uso o localización representen bajo riesgo de pérdidas o daño en otras instalaciones, también pueden ignorarse los efectos sísmicos cuando la aceleración horizontal máxima del terreno $a_0<0.15$ g. Adicionalmente, también pueden ignorarse en el diseño las acciones por sismo cuando el cortante basal sea menor al 75% de la carga horizontal generada por viento.

Localización del sitio.

AMERICAN TOWER
CORPORATION DE MEXICO

SOLICITUD DE COUBICACION

CO-LOCATION APPLICATION

COLOCACION

Llenado x ATC

Llenado x Client

Folio:

Fecha: 28/04/2014

Datos del Sitio

SITE ID	Tipo de Sitio	Nombre Sitio ATC	No. Sitio ATC
BCN-1027	ATC/TV AZTECA	MEXICO (Ensenada)	85664

Latitud		
31	52	22.7

Longitud		
116	37	53.3

Direccion del Sitio: Av. Miguel Alemán ; Núm. Ext. 203; Núm. Int. S/N ; Col .Fraccionamiento Chapultepec ; Mun./Del. ; Cdad. Ensenada; Edo. Baja California Norte; C.P. 22870 ; Entre Calle Punta Banda,

Favor de Completar la Informacion siguiente para poder procesar su solicitud. Esta aplicación tendra una vigencia de 90 dias a partir de la fecha de aplicación

Datos a ingresar por el CLIENTE

Cliente	No. Sitio CLIENTE	Nombre Sitio CLIENTE

Nombre del Contacto	Telefono	Correo Electronico
Jorge Herrera Vera	5585825522	jherrera@iusacell.com.mx

Equipamiento en Piso | Area en Piso M² | Energia

Figura 4.1.44 localización del sitio.

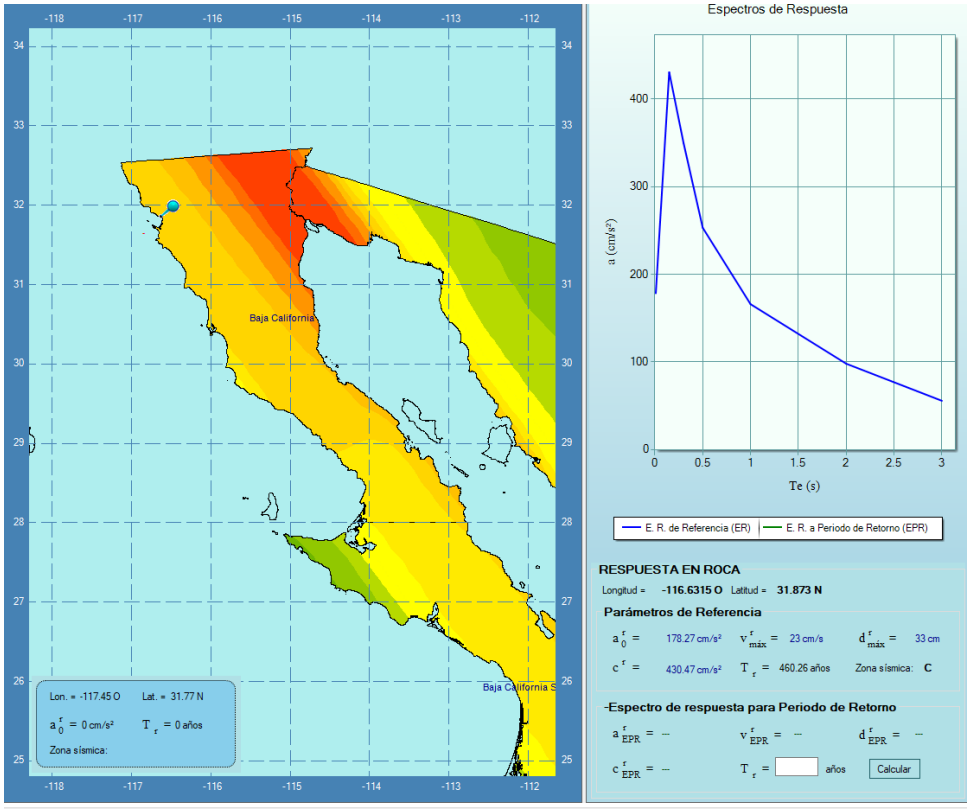


Figura 4.1.45 Espectro de respuesta de Prodisis para el municipio de Ensenada.

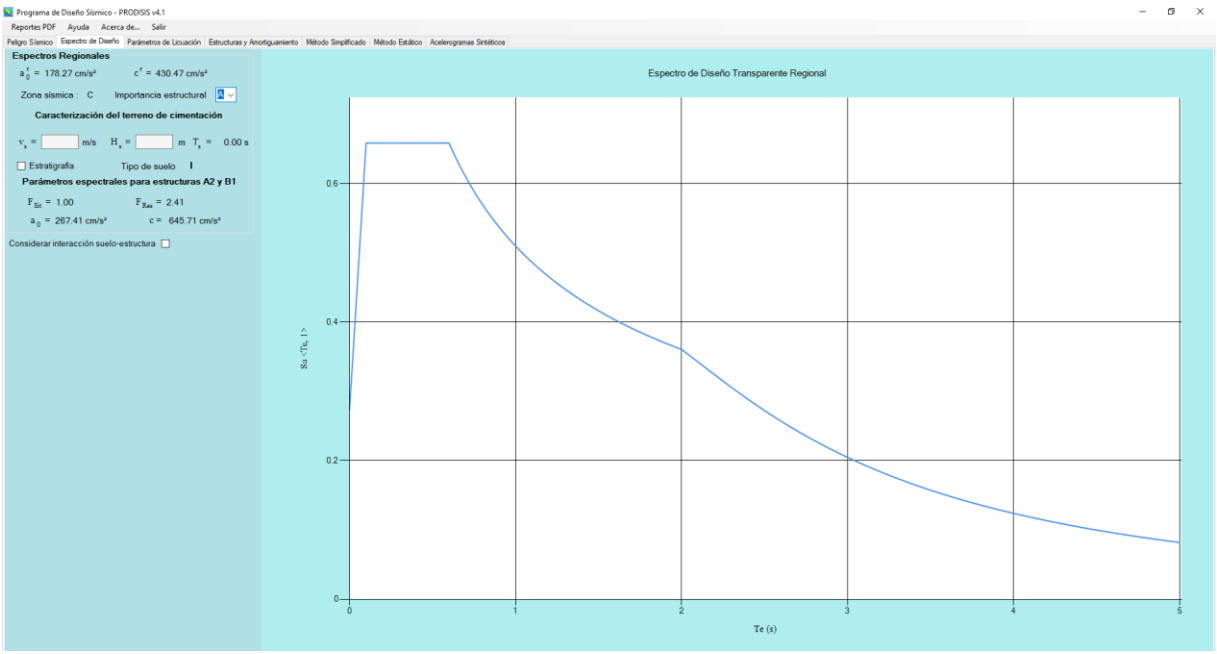


Figura 4.1.46 Espectro de diseño de Prodisis para el municipio de Ensenada.

Cortantes basales por efectos de viento.

TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
1	0.9M+1.6V90	Combination	-1588.35	-4710.37	-32612.11	0	0	0
2	0.9M+1.6V90	Combination	1577.52	-4529.7	-31633.96	0	0	0
3	0.9M+1.6V90	Combination	2054.47	-4761.34	39746.57	0	0	0
4	0.9M+1.6V90	Combination	-2043.63	-4592.15	38889.19	0	0	0
			0.01	-18593.6	14389.69			

CORTANTE EN DIRECCION X

CORTANTE EN DIRECCION X

FUERZA AXIAL

Tabla 4.2.12 cortantes basales generados por la acción del viento.

TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
1	ELX	LinRespSpec	Max	567.95	332.79	6560.24	0	0	0
2	ELX	LinRespSpec	Max	569.37	333.66	6570.4	0	0	0
3	ELX	LinRespSpec	Max	558.32	339.84	6537.9	0	0	0
4	ELX	LinRespSpec	Max	557.28	339	6530.21	0	0	0
				2252.92	1345.29	26198.75			

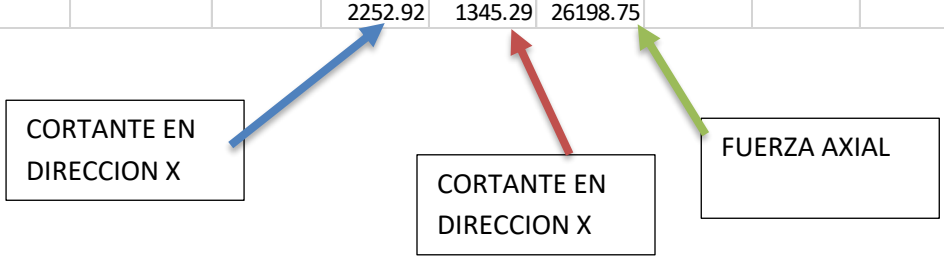


Tabla 4.2.13 Cortantes basales generados por la acción del sismo.

$$Cociente\ de\ cortantes\ basales = \frac{Cortante\ basal\ sismo.}{Cortante\ basal\ viento}$$

$$Cociente\ de\ cortantes\ basales = \frac{2252\ kg}{18593\ kg} = 0.12\ \%$$

Como se indica se puede omitir el análisis sismico siempre y cuando el cortante basal por sismo llegue a un 75% con relación al cortante basal generado por las fuerzas de viento.

4.4 Diseño estructural.

Como el sitio a revisión es para la empresa American Tower Company, se utilizarán sus normas, la estructura será revisada mediante el método del LRFD.

Metodo ASD		Metodo LRFD	
Base Triangular	Base cuadrangular	Base Triangular	Base cuadrangular
1.0 M	1.0 M	1.4 M	1.4 M
1.0 M+ 1.0 Vnormal	1.0 M+ 1.0 Vnormal	0.90 M+ 1.6 Vnormal	0.90 M+ 1.6 Vnormal
1.0 M+ 1.0 V60	1.0 M+ 1.0 V60	0.90 M+ 1.6 V60	0.90 M+ 1.6 V60
1.0 M+1.0 V90	1.0 M+1.0 V90	0.90 M+1.6 V90	0.90 M+1.6 V90
		1.20 M+ 1.6 Vnormal	1.20 M+ 1.6 Vnormal
		1.20 M+ 1.6 V60	1.20 M+ 1.6 V60
		1.20 M+1.6 V90	1.20 M+1.6 V90
1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal	1.0M +1.0 Vservicio normal
1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60	1.0M +1.0 Vservicio 60
1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90	1.0M +1.0 Vservicio 90
1.0M +0.75 Vservicio normal	1.0M +0.75 Vservicio	1.0M +0.75 Vservicio	1.0M +0.75 Vservicio
1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60	1.0M +0.75 Vservicio 60
1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90	1.0M +0.75 Vservicio 90
CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL	CASO DE CARGAS DE FRECUENCIA NATURAL

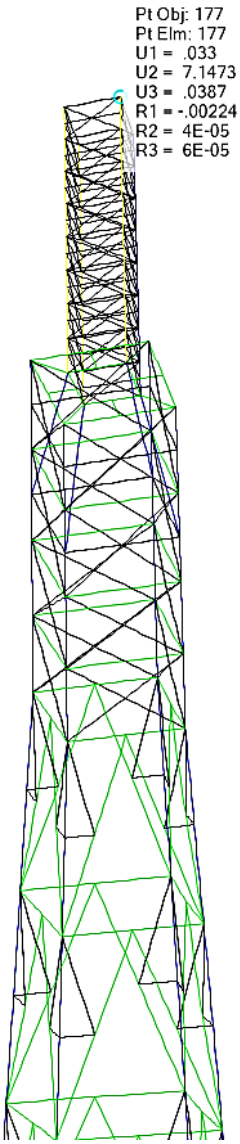
Tabla 4.2.14 Combinaciones de diseño.

4.4.1 Revisión por desplazamiento.

El desplazamiento máximo se revisará considerando lo siguiente:

Torres auto soportadas y arriostradas. Se revisarán como lo indica el Manual de Obras Civiles CFE - 2008 con la ecuación siguiente:

$$\Delta \text{calculado} \leq H \tan(0.75)$$



7.14 cm ≤ 4700 cm* tan (0.75).

7.14 cm ≤ 61.52 cm.

Figura 4.1.47 Imagen de desplazamientos en corona de torre

El desplazamiento generado en la torre por las fuerzas de viento resulta mucho menor a las permitidas por el reglamento de American Tower Company.

CONCLUSIONES.

El manual de obras civiles de diseño por viento es de gran ayuda para el ingeniero estructural cuando se encuentra con un problema de una torre de telecomunicación ya que muestra en forma muy general cuales son los pasos a seguir para la obtención de fuerzas producidas el viento.

El análisis por viento generalmente es el que rige en el diseño y análisis estructural en este tipo de estructuras, ya que la poca masa de una torre de telecomunicación hace que sea despreciable el análisis sísmico. En el análisis estructural de la torre Ensenada sucede que el cociente de las sumatorias de cortantes basales por viento y sismo da un 12% siendo mayor las fuerzas producidas por viento. En el apartado de diseño por sismo del manual de obras civiles de Torres de telecomunicación indica que para tomar en cuenta el análisis sísmico para el diseño de la estructura el cociente de cortantes basales deberá estar en el 75%.

Específicamente se concluye lo siguiente:

- No existe normatividad suficiente para analizar los diferentes tipos de torres que pueden surgir (atirantados, monopolos, etc)
- El análisis de torres de telecomunicación depende en gran parte del criterio del diseñador estructural.

- Se sugiere que las empresas encargadas del ámbito de las telecomunicaciones realicen manuales más completos, respecto a sus diseños y así mismo realizar cursos, ya que muchas cosas del diseño se dejan a criterio y a interpretación.

Referencias bibliográficas.

Comisión Federal De Electricidad. (2008). *Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento.* México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Comisión Federal De Electricidad. (2008). *Manual de diseño de obras civiles, diseño por sismo.* México: Instituto de Investigación Eléctricas.

Departamento del Distrito Federal. (2004). *Normas Técnicas Completarías Para Diseño por Sismo.* México: Gaceta Oficial Del Distrito Federal.

Australian Standard. (1994). *Design of Steel lattice towers and masts.* Australia: AS 3995-1994.

AMERICAN TOWER
CORPORATION DE MEXICO

BLVD MANUEL AVILA CAMACHO#32
TORRE ESMERALDA#PISO 2
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC
MÉXICO DF C.P. 11000
TEL. (5 5) 52 402000

85664 ENSENADA

ESTUDIO ESTRUCTURAL DE TORRE AUTOSOPORTADA ALTURA
DE = 47.00 m

DESCRIPCION DE PROYECTO

LEVANTAMIENTOS Y MAPEOS DESITIOS ATC
REALIZADOS DE ACUARDO A LAS ESPECIFICACIONES
DE ATC ABRIL 2013

DATOS		FECHA
PROYECTO /A.T.C.	-	SEPTIEMBRE 2017
NOMBRE DEL DIBUJANTE:	-	-
REVISO /A.T.C.		-
NOMBRE DEL CONTRATISTA EJECUTOR	-	-
REPRESENTANTE DEL CONTRATISTA(NOMBRE)	-	-
SUPERVISOR A.T.C.		-

RESUMEN DE PROYECTO

ATC NUMERO DE PROYECTO

CLIENTE: ATC

CMS: 85664

NOMBRE DEL SITIO: ENSENADA

DIRECCION DEL SITIO: AV. MIGUEL ALEMAN 203 FRACC CHAPULTEPEC
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA NORTE

COORDENADAS: 31° 52' 22.70" N, 116° 37' 5.3"W

FECHA: AGOSTO 2017

REVISION: 1 LEVANTAMIENTOS Y MAPEOS
SITIOS ATC, 2013

INDICE DE DIBUJO

NUEMERO DE DIBUJO	TITULO DE DIBUJO	REVISION
A-01	PLANTA ARQUITECTONICA	1
A-02	ALZADO DE TORRE Y DETALLES	1

AMERICAN TOWER
INGENIERIA

EL PRESENTE PROYECTO, ASI COMO SUS ESPECIFICACIONES SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO. SU USO Y/O PUBLICACIÓN ESTÁN RESTRINGIDAS EN OTROS SITIOS PROPOSO AJENOS A AMERICAN TOWER CORPO TATION MÉXICO, PORELLO SON EMITIDOS PARA EL USO EXCLUSIVO DEL SITIO EN CUESTION, QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O PUBLICACIÓN TOTAL O PARCIAL BAJO CUALQUIER MÉTODO, A MENOS QUE SE OBTENGA UN PERMISO ESCRITO EMITIDO POR AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO.

REV.	DESCRIPCION	POR	FECHA
1	MAPEO DE SITIO	-	23/09/2017

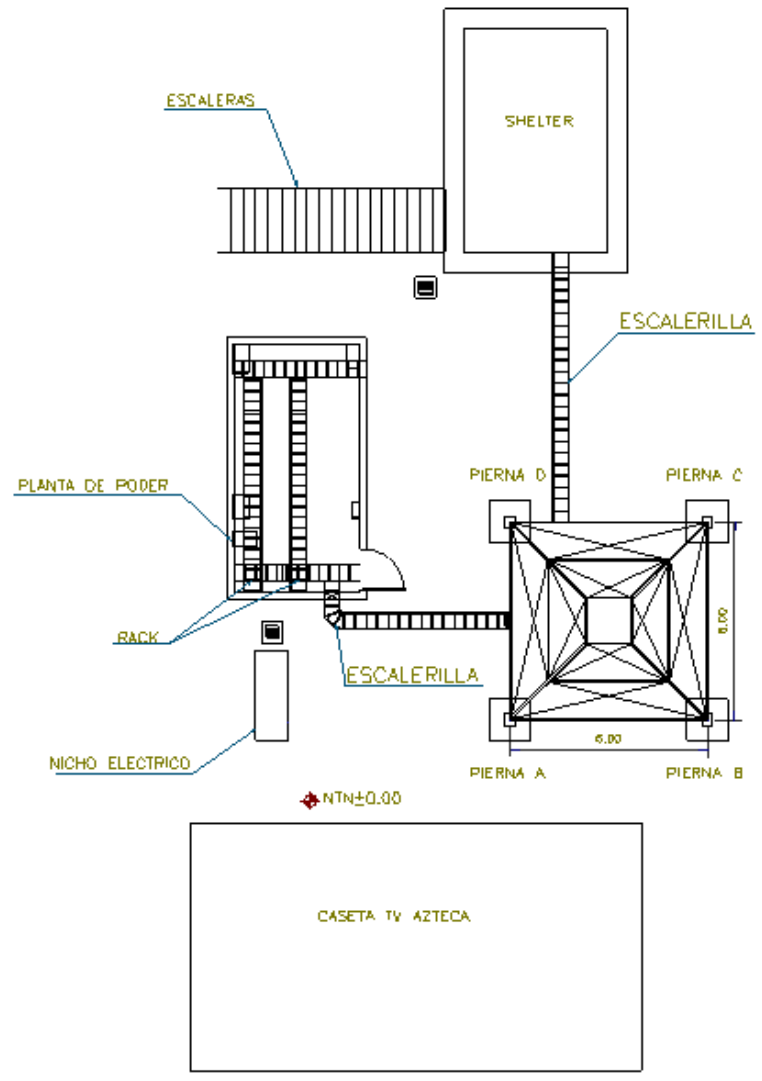
NUEMERO DESITIO
85664

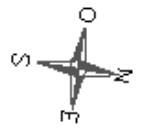
NOMBRE DE SITIO
ENSENADA

DIRECCION DESITIO
AV. MIGUEL ALEMÁN 203, FRACC CHAPULTEPEC
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA NORTE

ELABORADO POR: -
REVISADO POR:
FECHA DE REVISIÓN: SEPTIEMBRE 2017
ATC.: TRABAJO No.: -
TÍTULO DE PLANO: MAPEO DEL SITIO

NÚEMERO DE PLANO	REV.#
PORTADA	00





ACCESO A SITIO

PLANTA ARQUITECTONICA

ESC. SIN

AMERICAN TOWER

INGENIERIA

EL PRESENTE PROYECTO, ASI COMO SUS ESPECIFICACIONES SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO. SU USO Y/O PUBLICACIÓN ESTÁN RESTRINGIDAS EN OTROS SITIOS PROPIOS O AJENOS A AMERICAN TOWER CORPOTATION MÉXICO, POR ELLO SON EMITIDOS PARA EL USO EXCLUSIVO DEL SITIO EN CUESTION. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O PUBLICACIÓN TOTAL O PARCIAL BAJO CUALQUIER MÉTODO, A MENOS QUE SE OBTENGA UN PERMISO ESCRITO EMITIDO POR AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO.

REV.	DESCRIPCION	POR	FECHA
1	MAPEO DE SITIO	-	23/09/2017
2			
3			

NUMERO DE SITIO

85664

NOMBRE DE SITIO

ENSENADA

DIRECCION DE SITIO

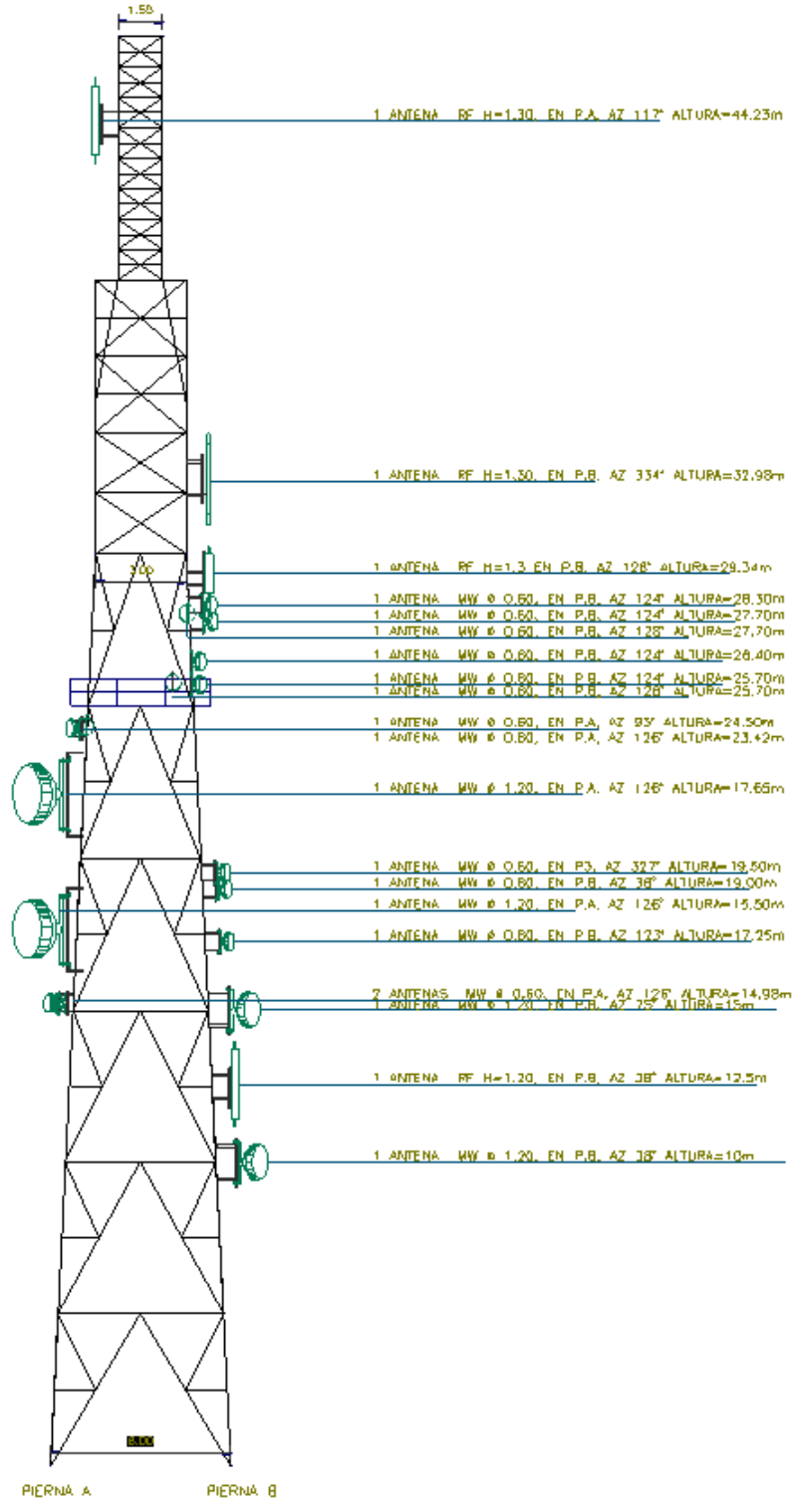
AV. MIGUEL ALEMÁN 203, FRACC. CHAPULTEPEC
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA NORTE

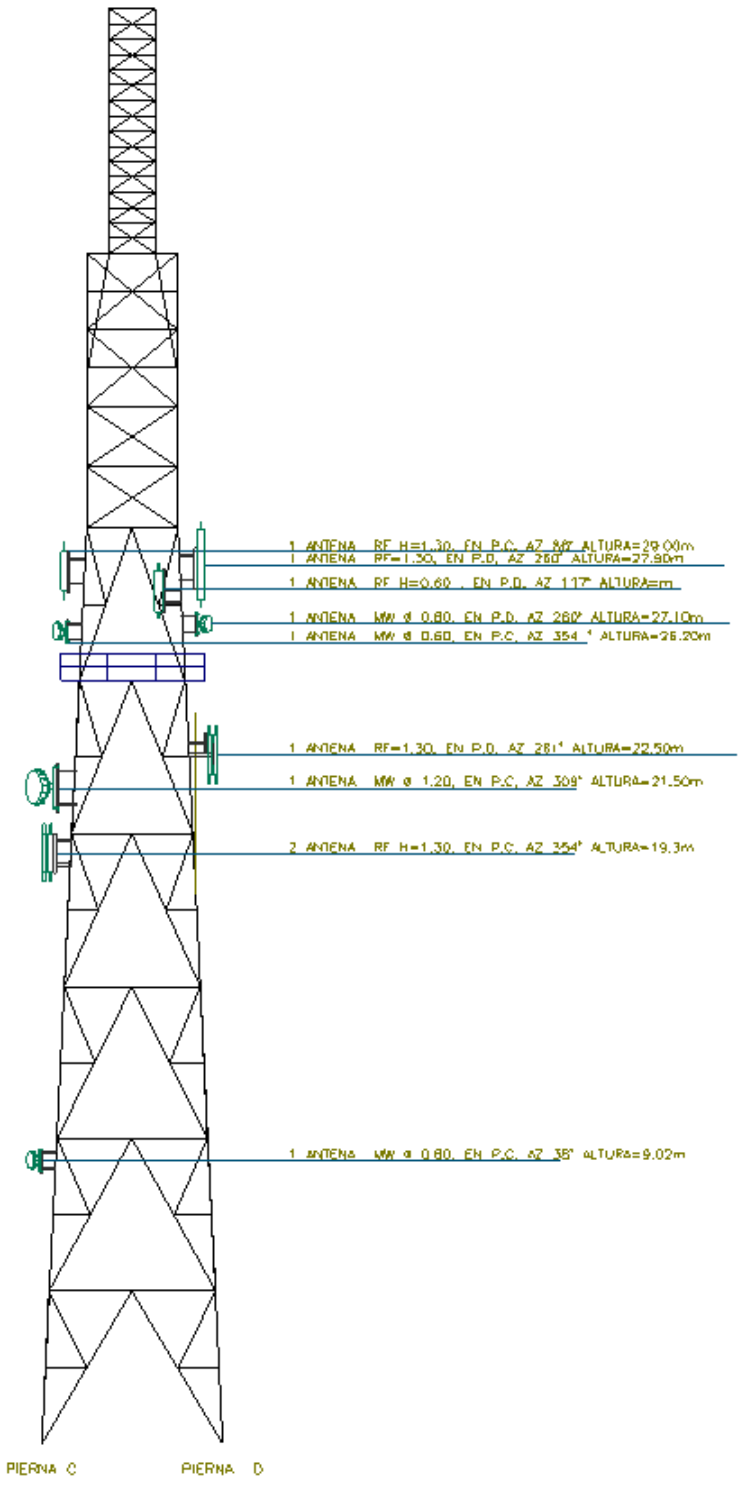
ELABORADO POR:	-
REVISADO POR:	
FECHA DE REVISIÓN:	SEPTIEMBRE 2017
ATC. TRABAJO No:	-

TÍTULO DE PLANO: MAPEO DEL SITIO

PLANTA ARQUITECTÓNICA

NÚMERO DE PLANO	REV. #
A-01	00





UBCACION DE EQUPOS

ESC. SIN ACOT. m

AMERICAN TOWER

INGENIERIA

EL PRESENTE PROYECTO, ASI COMO SUS ESPECIFICACIONES SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO. SU USO Y/O PUBLICACIÓN ESTÁN RESTRINGIDAS EN OTROS SITIOS PROPIOS O AJENOS A AMERICAN TOWER CORPOTATION MÉXICO, POR ELLO SON EMITIDOS PARA EL USO EXCLUSIVO DDEL SITIO EN CUESTION. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O PUBLICACIÓN TOTAL O PARCIAL BAJO CUALQUIER MÉTODO, A MENOS QUE SE OBTENGA UN PERMISO ESCRITO EMITIDO POR AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO.

REV.	DESCRIPCION	POR	FECHA
	MAPEO DE SITIO	-	23/09/2017

NUMERO DE SITIO

85664

NOMBRE DE SITIO

ENSENADA

DIRECCION DE SITIO

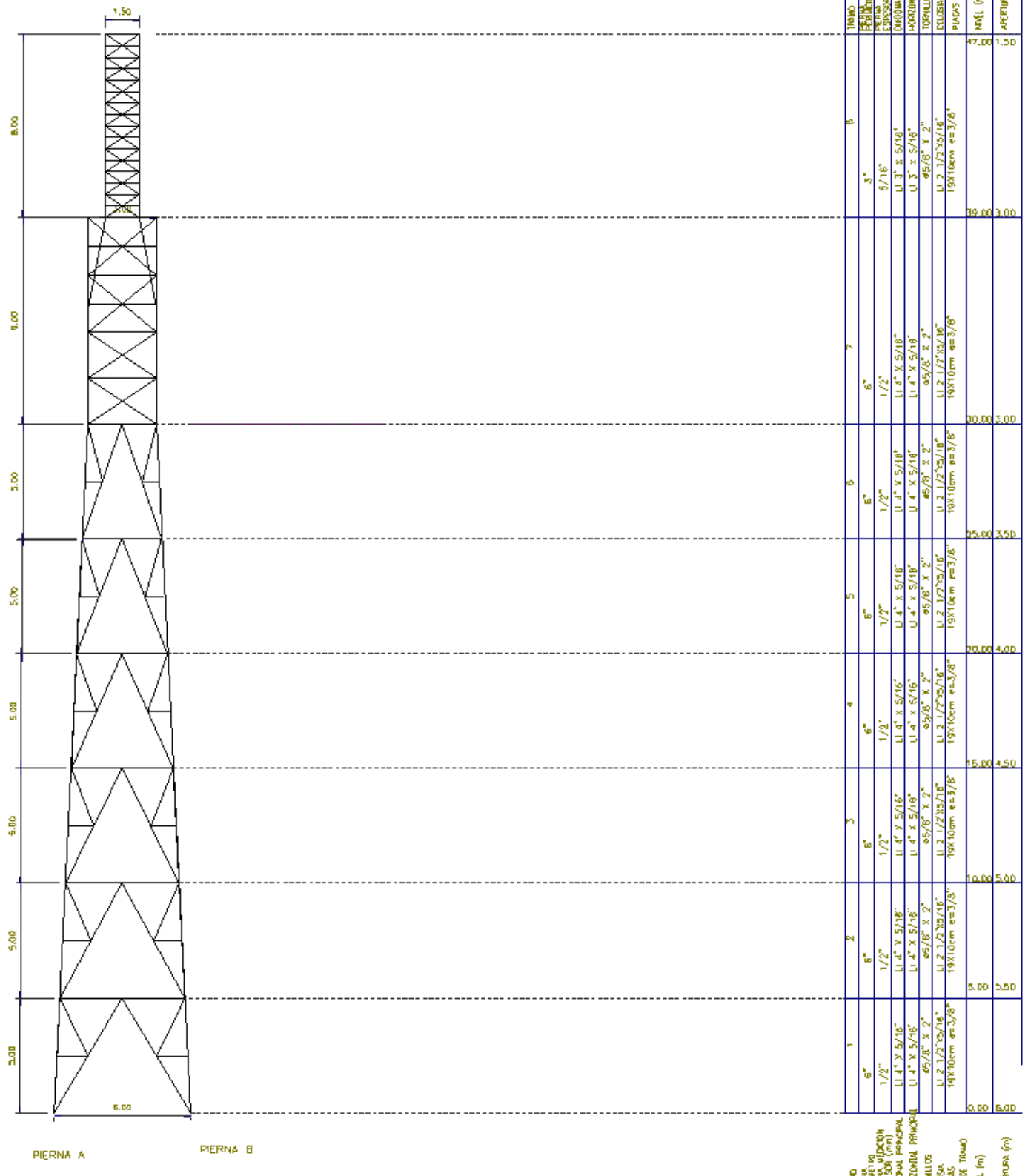
AV. MIGUEL ALEMÁN 203, FRACC. CHAPULTEPEC
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA NORTE

ELABORADO POR:	-
REVISADO POR:	
FECHA DE REVISIÓN:	SEPTIEMBRE 2017
ATC. TRABAJO No:	-

TÍTULO DE PLANO: MAPEO DEL SITIO

ALZADO DE TORRE

NUMERO DE PLANO	REV. #
A-02	00



AMERICAN TOWER

INGENIERIA

EL PRESENTE PROYECTO, ASI COMO SUS ESPECIFICACIONES SON PROPIEDAD EXCLUSIVA DE AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO. SU USO Y/O PUBLICACIÓN ESTÁN RESTRINGIDAS EN OTROS SITIOS PROPIOS O AJENOS A AMERICAN TOWER CORPOTATION MÉXICO, PORELLO SON EMITIDOS PARA EL USO EXCLUSIVO DDEL SITIO EN CUESTION. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN Y/O PUBLICACIÓN TOTAL O PARCIAL BAJO CUALQUIER MÉTODO, A MENOS QUE SE OBTENGA UN PERMISO ESCRITO EMITIDO POR AMERICAN TOWER CORPORATION MÉXICO.

REV.	DESCRIPCION	POR	FECHA
	MAPEO DE SITIO	-	23/09/2017

NUEMERO DE SITIO

85664

NOMBRE DE SITIO

ENSENADA

DIRECCION DE SITIO

AV. MIGUEL ALEMÁN 203, FRACC. CHAPULTEPEC
ENSENADA, BAJA CALIFORNIA NORTE

ELABORADO POR:	-
REVISADO POR:	
FECHA DE REVISIÓN:	SEPTIEMBRE 2017
ATC. TRABAJO No:	-

TÍTULO DE PLANO: MAPEO DEL SITIO

ALZADO DE TORRE

NÚEMERO DE PLANO	REV.#
A-02	00