

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**DISEÑO DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA DE
TELECOMUNICACION DE 120 METROS DE
ALTURA MEDIANTE LA NORMA ANSI/TIA-222-G**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JUAN LUIS RIVERA HURTADO

Lima - Perú

2015

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Delfina Hurtado, a mi padre Eucario Rivera, a mis hermanos: Luzmila, Eucario, Lorena, Luz Karina y especialmente a mi hermano mayor Adanec por su incondicional apoyo en mi etapa universitaria

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 5 |
| LISTA DE CUADROS | 6 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS | 8 |
| INTRODUCCION | 11 |
| | |
| CAPÍTULO I: GENERALIDADES | 13 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 13 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.3 OBJETIVOS | 14 |
| 1.3.1 Objetivo principal | 14 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 14 |
| 1.4 CONTENIDO DEL DOCUMENTO | 14 |
| | |
| CAPÍTULO II: TORRES DE TELECOMUNICACIONES | 16 |
| 2.1 DEFINICION | 16 |
| 2.2 COMPONENTES DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN | 16 |
| 2.2.1 Estructura principal | 16 |
| 2.2.2 Escalera de acceso | 17 |
| 2.2.3 Sistema de seguridad | 18 |
| 2.2.4 Guía ondas | 19 |
| 2.2.5 Plataforma de trabajo y/o descanso | 19 |
| 2.2.6 Estrella estabilizadora | 20 |
| 2.2.7 Sistema de protección contra descargas | 20 |
| 2.2.8 Sistema de señalización nocturno o balizamiento nocturno | 21 |
| 2.2.9 Balizamiento diurno | 21 |
| 2.2.10 Mimetizaciones | 22 |
| 2.2.11 Conexión a red de tierras | 23 |
| 2.2.12 Protección contra la corrosión | 23 |
| 2.2.13 Cimentación | 24 |
| 2.3 TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES | 26 |
| 2.3.1 Torres autosoportadas | 26 |
| 2.3.2 Torres ventadas | 27 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.3.3 | Torres monopolos | 28 |
| 2.4 | NORMAS | 29 |
| 2.5 | PROGRAMAS | 30 |
| 2.5.1 | Ms tower v6.02.002 | 31 |
| CAPÍTULO III: RESUMEN DE NORMA ANSITIA-222-G | | 33 |
| 3.1 | ALCANCES | 33 |
| 3.2 | CARGAS | 33 |
| 3.2.1 | Cargas permanentes | 33 |
| 3.2.2 | Cargas de viento | 33 |
| 3.2.2.1 | <i>Clasificación de las estructuras</i> | 34 |
| 3.2.2.2 | <i>Categorías topográficas</i> | 35 |
| 3.2.2.3 | <i>Categorías de exposición</i> | 37 |
| 3.2.2.4 | <i>Fuerza de viento de diseño sobre la estructura</i> | 38 |
| 3.2.2.5 | <i>Fuerza de viento de diseño sobre los accesorios</i> | 42 |
| 3.2.3 | Cargas sísmicas | 42 |
| 3.2.4 | Combinaciones de cargas mayoradas | 43 |
| 3.2.5 | Cargas de servicio | 44 |
| 3.2.6 | Desplazamientos y rotaciones | 44 |
| 3.3 | CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO | 44 |
| 3.3.1 | Relaciones de esbeltez | 44 |
| 3.3.2 | Esbeltez de elementos armados | 45 |
| 3.4 | DISEÑO DE MIEMBROS A COMPRESIÓN | 45 |
| 3.4.1 | Tensión de fluencia efectiva | 45 |
| 3.4.2 | Resistencia axial de diseño | 46 |
| 3.5 | DISEÑO DE MIEMBROS A TRACCIÓN | 47 |
| 3.5.1 | Para la fluencia por tracción en la sección bruta | 47 |
| 3.5.2 | Para rotura por tracción en la sección neta efectiva | 47 |
| 3.5.3 | Para rotura en bloque por corte | 48 |
| 3.5.4 | Área neta | 48 |
| 3.5.5 | Área neta efectiva | 48 |
| 3.6 | UNIONES | 49 |
| 3.6.1 | Pernos de conexión | 49 |
| 3.6.2 | Distancias a los bordes | 49 |
| 3.6.3 | Resistencia de las uniones | 49 |

| | | |
|---------|-------------------------------------|----|
| 3.6.3.1 | <i>Resistencia al aplastamiento</i> | 49 |
| 3.6.3.2 | <i>Resistencia al corte</i> | 50 |
| 3.6.4 | Elementos de unión | 51 |
| 3.7 | DISEÑO PERNOS DE ANCLAJE | 52 |

**CAPÍTULO IV: DISEÑO DE TORRE AUTOSOPORTADA DE 120M
DE ALTURA**

| | | |
|-------|--|----|
| | | 53 |
| 4.1 | ALCANCES | 53 |
| 4.1.1 | Proyecto | 53 |
| 4.1.2 | Ubicación | 53 |
| 4.1.3 | Elección del tipo de torre | 55 |
| 4.1.4 | Descripción del proyecto a realizar | 55 |
| 4.2 | ESPECIFICACIONES | 56 |
| 4.3 | GEOMETRIA | 57 |
| 4.4 | NORMAS | 58 |
| 4.5 | CARGAS | 59 |
| 4.5.1 | Carga permanente (D) | 59 |
| 4.5.2 | Carga de viento (W) | 60 |
| 4.5.3 | Carga de sismo (E) | 63 |
| 4.6 | COMBINACIONES DE CARGA | 64 |
| 4.7 | CALCULOS PARA EL DISEÑO | 66 |
| 4.7.1 | Propiedades geométricas de ángulos simples | 66 |
| 4.7.2 | Propiedades geométricas de ángulos armados en cruz | 67 |
| 4.7.3 | Límites de esbeltez de elementos | 68 |
| 4.8 | DISEÑO A COMPRESIÓN DEL PERFIL MAS CARGADO | 68 |
| 4.9 | DISEÑO A TRACCIÓN DE PERFIL MAS CARGADO | 69 |
| 4.10 | MÁXIMAS REACCIONES EN LA BASE DE LA TORRE | 71 |
| 4.11 | MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS EN LA TORRE | 71 |
| 4.12 | DISEÑO DE CONEXIÓN MONTANTE CON MONTANTE | 72 |
| 4.13 | DISEÑO DE CONEXIÓN DIAGONAL CON MONTANTE | 74 |
| 4.14 | DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE | 75 |

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|--------------|----|
| 5.1 | CONCLUSIONES | 76 |
|-----|--------------|----|

5.2 RECOMENDACIONES 77

BIBLIOGRAFIA 78

ANEXOS 79

RESUMEN

El objetivo de este Informe de Suficiencia es obtener un diseño convencional para una torre autosoportada de celosía de 120m de altura, el cual servirá de soporte para antenas de telecomunicaciones. El diseño de la torre se realizara mediante la norma ANSI/TIA-222G, cuyo método de diseño de elementos de acero está basado en el método del AISC-LRFD-99, y para el caso de cargas sobre la estructura está basado en la norma ASCE 7-02.

El diseño de la estructura de la torre de celosía esta predominado por las cargas que le impone la presión dinámica del viento, la velocidad de viento considerado para el diseño para un periodo de retorno de 50 años según el mapa eólico del Perú, indicado en la norma E.020 para el sitio donde se ubicaran las torres es de 100km/h.

Por otra parte se realizó un análisis sísmico estático considerando los parámetros sísmicos de la zona para ver el comportamiento de la estructura frente a un sismo, el cual fue insignificante.

Se realizó un resumen de la norma ANSI/TIA-222G, donde se resaltan los aspectos fundamentales a considerar para el diseño de torres autosoportadas de celosía, posteriormente se aplicó al diseño de una torre autosoportada de 120m de altura.

Además se presenta un resumen del modelamiento de la torre autosoportada de celosía de 120m de altura en el programa Ms Tower V6.02.002, donde se muestran la geometría, las cargas, los resultados de diseño, las reacciones en la base y los desplazamientos en la parte superior de la torre.

Por último se presenta un plano de presentación de la torre de 120m donde se muestran la geometría y los perfiles utilizados, las antenas, las plataformas, escaleras y las especificaciones en general. Como ejemplo se presenta un plano de fabricación de una torre de 48m modelado o detallado en el programa TEKLA.

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Tabla N° 3.1.- Clasificación de la Estructura | 34 |
| Tabla N° 3.2.- Factor de Importancia | 35 |
| Tabla N° 3.3.- Coeficientes de categoría topográfica | 37 |
| Tabla N° 3.4.- Coeficientes según categoría de Exposición | 38 |
| Tabla N° 3.5.- Factor de probabilidad de dirección del viento | 38 |
| Tabla N° 3.6.- Factores de direcciones de viento | 41 |
| Tabla N° 4.1.- Presión de viento vs Altura | 62 |
| Tabla N° 4.2.- Propiedades geométricas de perfiles Simples | 66 |
| Tabla N° 4.3.- Propiedades geométricas de perfiles armados | 67 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N° 2.1.- Estructura de torre de telecomunicación | 18 |
| Figura N° 2.2.- Escalera de acceso y escalera de cables | 19 |
| Figura N° 2.3.- Escalera de acceso y línea de vida | 19 |
| Figura N° 2.4.- Plataforma de trabajo o descanso | 20 |
| Figura N° 2.5.- Estrella estabilizadora, para torres ventadas | 21 |
| Figura N° 2.6.- Pararrayo y balizaje nocturno | 22 |
| Figura N° 2.7.- balizaje diurno | 23 |
| Figura N° 2.8.- Mimetizado de torre monopolo | 24 |
| Figura N° 2.9.- Cimentación para torres tipo monopolo | 26 |
| Figura N° 2.10.- Cimentación para torres autosoportadas triangulares | 26 |
| Figura N° 2.11.- Torre Autosoportada cuadrada | 28 |
| Figura N° 2.12.- Torre Ventada ubicado en azotea | 29 |
| Figura N° 2.13.- Torre Monopolo | 30 |
| Figura N° 3.1.- Ubicación de torre en terreno llano | 36 |
| Figura N° 3.2.- Ubicación de torre en cresta | 37 |
| Figura N° 3.3.- Ubicación de torre en un colina | 37 |
| Figura N° 3.4.- Ubicación de torre en una cuchilla | 37 |
| Figura N° 4.1.- Ubicación del proyecto en el Mapa del Perú | 55 |
| Figura N° 4.2.- Ubicación del proyecto en el Mapa del departamento Loreto | 55 |
| Figura N° 4.3.- Vista en elevación de la torre | 59 |
| Figura N° 4.4.- Presión dinámica vs altura de torre | 64 |
| Figura N° 4.5.- Sección transversal de Perfiles angulares a 90° | 67 |
| Figura N° 4.6.- Vista de sección transversal de perfiles armados | 68 |
| Figura N° 4.7.- Montantes sometidos a tracción | 71 |
| Figura N° 4.8.- Desplazamientos (m) y Rotaciones (rad) en la torre | 73 |
| Figura N° 4.9.- Conexión de Montante con Montante de perfiles Armados | 74 |
| Figura N° 4.10.- Conexión de Diagonal con Montante | 75 |

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

| | |
|---------------|---|
| D | = carga permanente de la estructura y los accesorios. |
| E | = carga sísmica |
| W | = carga de viento sin hielo |
| α | = exponente de la ley de potencia de la velocidad |
| ε | = relación de solidez de la estructura sin accesorios |
| Af | = área proyectada de los componentes estructurales planos |
| Ar | = área proyectada de los componentes estructurales circulares |
| Cf | = coeficiente de fuerza para una estructura |
| Df | = factor de dirección del viento para componentes estructurales planos |
| Dr | = factor de dirección del viento para componentes estructurales circulares |
| $(EPA)_A$ | = área proyectada efectiva de un accesorio |
| $(EPA)_S$ | = área proyectada efectiva de la estructura |
| e | = base de los logaritmos naturales |
| f | = factor de atenuación dependiente de la altura |
| F_A | = fuerza de viento de diseño sobre los accesorios |
| F_{ST} | = fuerza de viento de diseño sobre la estructura |
| F_w | = carga de viento de diseño |
| Gh | = factor de ráfaga |
| h | = altura de la estructura |
| H | = altura de la cresta sobre el terreno circundante = factor de importancia |
| Kd | = factor de probabilidad de la dirección del viento |
| Ke | = constante del terreno |
| Kh | = factor de reducción dependiente de la altura |
| Kt | = constante topográfica |
| Kz | = coeficiente de presión dinámica |
| Kzmin | = valor mínimo para Kz |
| Kzt | = factor topográfico |
| qz | = presión dinámica |
| V | = velocidad básica del viento sin hielo |
| z | = altura sobre el terreno |
| zg | = altura nominal de la capa de contorno atmosférica |
| λ_c | = parámetro de esbeltez de las columnas |
| η | = coeficiente de fricción |

| | |
|-------------------------------|--|
| Φ | = factor de resistencia |
| Φ_c | = factor de resistencia para compresión |
| Φ_p | = factor de resistencia para elementos de unión |
| Φ_t | = factor de resistencia para tracción |
| Φ_v | = factor de resistencia para corte |
| A | = A_n para elementos apernados y A_g para elementos soldados |
| A_b | = área nominal del cuerpo no roscado de un perno |
| A_{en} | = área neta efectiva |
| A_g | = área bruta del elemento |
| A_{gt} | = área bruta sujeta a tracción |
| A_{gv} | = área bruta sujeta a corte |
| A_n | = área neta de un elemento |
| A_{nt} | = área neta sujeta a tracción |
| A_{nv} | = área neta sujeta a corte |
| a | = menor distancia entre el borde del orificio y el borde del elemento |
| a_i | = distancia entre conectores |
| a_i/r_i | = mayor relación de esbeltez de los componentes individuales |
| d_p | = diámetro nominal de perno |
| E_s | = módulo de elasticidad del elemento |
| F_{cr} | = tensión crítica |
| F_u | = mínima resistencia a la tracción especificada de la pieza crítica |
| F_{ub} | = mínima resistencia a la tracción especificada de un perno |
| F_y | = mínima resistencia a la fluencia especificada |
| F'_y | = tensión de fluencia efectiva |
| K | = factor de longitud efectiva |
| KL/r | = relación de esbeltez efectiva |
| $\left(\frac{KL}{r}\right)_o$ | = relación de esbeltez efectiva de un elemento armado actuando como una unidad |
| $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ | = relación de esbeltez efectiva modificada de un elemento armado |
| L | = longitud de un elemento sin arriostramiento lateral |
| L/r | = relación de esbeltez del elemento |
| L_c | = distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde de un orificio y el borde de un orificio adyacente o el borde del material |
| P_n | = resistencia axial nominal |

| | |
|------------|--|
| Pu | = fuerza de compresión axial debida a las cargas mayoradas |
| r | = radio de giro determinante respecto del eje de pandeo |
| ri | = mínimo radio de giro de un componente individual de un elemento armado |
| rz | = radio de giro determinante respecto del eje de pandeo z |
| Rn | = resistencia nominal al aplastamiento en los orificios para pernos |
| Rnp | = resistencia nominal de un elemento de unión |
| Rnt | = resistencia nominal a la tracción de un perno o varilla de anclaje |
| Rnv | = resistencia nominal al corte de un perno o varilla de anclaje |
| Tub | = fuerza de tracción en un perno debida a las cargas mayoradas |
| t | = espesor del elemento o de la pieza crítica conectada |
| Vn | = resistencia nominal al corte |
| Vub | = fuerza de corte en un perno debida a las cargas mayoradas |
| w | = ancho de un componente plano de un elemento |

INTRODUCCION

El Informe de Suficiencia realizado trata del "Diseño de una torre Autosoportada de telecomunicación de 120 metros de altura mediante la norma ANSI/TIA-222-G", considerando las características y propiedades del acero, que se viene utilizando hace muchos años, siendo un material muy versátil debido a las múltiples ventajas que presenta tanto en su estructura como en su comportamiento, además de que sus métodos de cálculo son simplificados.

La norma ANSI/TIA 222-G diseña mediante el método LRFD, este método se usará para el cálculo de los elementos estructurales en este proyecto, el cual está orientado esencialmente a la aplicación de los fundamentos básicos del método en mención (LRFD).

A través del programa de estructuras MS TOWER V6.02.002, se realizara la modelación de los miembros estructurales del proyecto, toda vez que su programación cuenta con las especificaciones propuestas por la norma ANSI/TIA 222-G, el cual diseña mediante el método LRFD desarrollado por la norma americana. A demás a manera de comparación se diseñarán manualmente algunos de los miembros estructurales utilizando el método de los estados límites.

En el presente proyecto, se realizó un análisis minucioso de las cargas y factores a los que están sometidas las estructuras, dependiendo del lugar de emplazamiento, como son: Cargas debidas al peso propio (peso de torre más antenas y soportes de antenas), cargas debido al viento y cargas debido al sismo.

Todo esto se hace con el fin de tomar en cuenta todos los aspectos para obtener un diseño lo más liviano posible asegurándonos de proveer una larga vida útil a la estructura.

En este proyecto se presenta un modelo habitual de torre de celosía de telecomunicación a partir del cual se propone un diseño convencional del mismo.

Este diseño consiste en la reducción de peso de la estructura, siendo éste el factor clave para reducir el costo de este tipo de torre.

En esta introducción se establece la estructura del documento y se explican brevemente los antecedentes y objetivos por los que se acomete esta tarea de diseño.

En la parte central y base del proyecto se presentan las propuestas para el diseño y se demuestra, mediante los cálculos necesarios, que dicho diseño responde a las solicitudes requeridas.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La comunicación está directamente relacionada con la calidad de vida de los pueblos y es fundamental el desarrollo y la Expansión de Infraestructuras en Telecomunicaciones, en todo el territorio nacional, especialmente en áreas rurales, lugares de preferente Interés social y zonas de frontera, para la instalación y desarrollo de la infraestructura necesaria para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, al considerarse estos servicios de interés y necesidad publica como base fundamental para la integración de los peruanos y el desarrollo social y económico del país.

Las torres de telecomunicación son ubicadas en cerros, áreas planas, o en algunos casos en azoteas de las viviendas más altas de las ciudades.

Debido a la ubicación de las torres sobre cerros o puntos lejanos del país, se plantean instalar torres de celosía, los cuales son fabricados por piezas, permitiendo a si la facilidad para el transporte y la instalación de la misma.

Existen una variedad de tipos de torres de telecomunicación, pero la mayoría son armados en módulos de 3m o 6m, para permitir los traslados de dichos módulos a cualquier punto del país.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es la necesidad de determinar las mejores alternativas de solución para los diversos problemas que pueden existir en el diseño y/o construcción de las torres de telecomunicaciones. Plantear dimensiones o formas adecuadas de torres de telecomunicación, elección de la calidad del acero, tipo y forma de conexiones, altura, ubicación de las antenas como plataformas de trabajo; luego calcular la resistencia admisible de cada elemento de la estructura, resistencias a la compresión, tracción y flexo compresión, para luego comprobar que sean menores que los esfuerzos actuantes.

El diseño de torres de telecomunicaciones se analizará en base a la norma ANSI/TIA-222-G debido a que describe los requisitos para el diseño estructural y la fabricación de torres estructurales nuevas, así como para la modificación de torres estructurales existentes, además de requisitos para el diseño estructural, la fabricación y la modificación de las estructuras, soportes, componentes estructurales, cables, aislantes y cimentaciones que soportan antenas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Principal

Llevar acabo el diseño de una torre autoportada de telecomunicación de 120 metros de altura mediante la norma ANSI/TIA-222-G.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Revisar los conceptos básicos del análisis y diseño de estructuras de acero, y comprender sus alcances y limitaciones.
- ✓ Plantear las diferentes dimensiones y/o formas que puede tener la estructura.
- ✓ Determinar el diseño de la estructura de la torre de telecomunicación, que cumple con los requisitos propuestos por la norma ANSI/TIA-222-G.

1.4 CONTENIDO DEL DOCUMENTO

El presente documento consta de fundamentalmente de cinco (5) capítulos, con el contenido que se describe a continuación:

- ✓ Capítulo I: Contiene una descripción de los antecedentes, planteamiento del problema y objetivos del proyecto.
- ✓ Capítulo II: Contiene una descripción teórica de las torres de telecomunicación en general.
- ✓ Capítulo III: Resumen de la norma ANSI/TIA-222-G para el diseño torres autoportadas de telecomunicaciones.

- ✓ Capítulo IV: Contiene el diseño de una torre autosoportada de celosía de 120 metros de altura.
- ✓ Capítulo V: Contiene las conclusiones obtenidas y los posible trabajos futuros.

En la parte de anexos tenemos, el modelamiento de la torre en el programa Ms Tower V6.02.002, el plano de presentación de la torre y un ejemplo de plano de fabricación de una torre de autosoportada triangular de 48 metros detallado en el programa TEKLA.

CAPÍTULO II: TORRES DE TELECOMUNICACIONES

2.1 DEFINICION

Es una estructura que sirve de soporte a los sistemas radiantes que tienen entre sus elementos a la antena o arreglos de antenas de las estaciones radioeléctricas, dicha antena sirve para la transmisión y/o recepción de señales radioeléctricas (ondas electromagnéticas).

Las estaciones de telecomunicaciones es la Infraestructura necesaria para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones o instalación que establece una red de canales o circuitos para conducir señales de voz, audio, datos, textos, imágenes u otras señales de cualquier naturaleza, entre dos o más puntos definidos por medio de un conjunto de líneas físicas. Enlaces radioeléctricos, ópticos de cualquier otro tipo, así como por los dispositivos equipos de conmutación asociados para tal efecto.

2.2 COMPONENTES DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN

2.2.1 Estructura principal

Su principal función es proporcionar un soporte adecuado a todo tipo de antenas y componentes a instalar en las torres. Debe proporcionar la estabilidad y resistencia necesarias, y proporcionar la altura adecuada para que el campo de acción de los componentes de telecomunicación realice su tarea y no se vea obstaculizado por otros elementos. Siempre buscando la solución más económica y ligera posible.

Está conformado por las patas principales o montantes, elementos horizontales, elementos diagonales, elementos secundarios, placas de unión de elementos diagonales y secundarios, diafragma y tornillería.

Suelen estar realizadas de perfiles de acero laminado en caliente de diversos tipos (planchas de acero para la torre tipo monopolo), fabricados por la propias

empresas o bien utilizando materiales prefabricados, estos perfiles están catalogados en la norma.

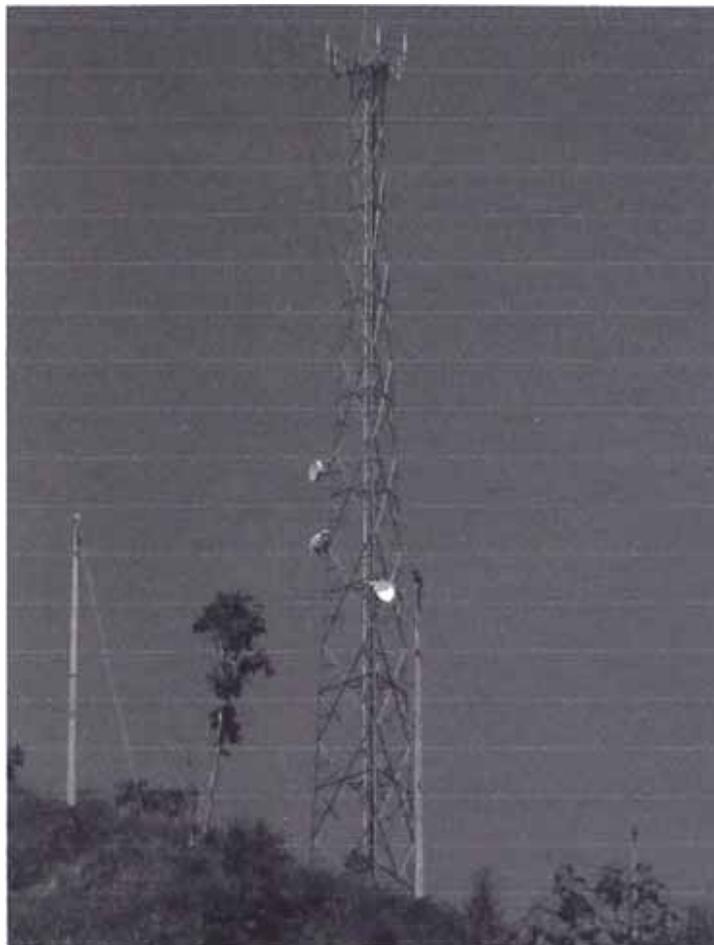


Figura N° 2.1.- Estructura de torre de telecomunicación

2.2.2 Escalera de acceso

Son escaleras fijas que se encuentran situadas verticalmente a lo largo de la torre, mediante elemento de ensamblaje, y permiten el acceso a la torre a cualquier altura, para cualquier labor de mantenimiento o instalación. Pueden ser interior o en casos donde el tamaño de la torre no se suficiente esta se colocará en el lado lateral de las torres.

Están compuestas por peldaños de barras lisas de acero y por normativa han de tener estos una medida de 30cm.

Para estructuras que formen con la horizontal un ángulo menor de 30° y su paso sea inferior a 37cm se podrá utilizar el reticulado como escalera. Generalmente son usados en torres ventadas y arriostradas.



Figura N° 2.2.- Escalera de acceso y escalera de cables

2.2.3 Sistema de seguridad

Por normativa en Prevención de Riesgos Laborales, toda torre debe estar provista de un sistema de seguridad o una línea de vida, a la cual toda persona que desee acceder debe utilizar, conectándose a él mediante su arnés o cinturón.



Figura N° 2.3.- Escalera de acceso y línea de vida

2.2.4 Guía ondas

Este elemento permite facilitar el recorrido de los cables que unen antenas y equipos a lo largos de las torres. Se ubican en posición horizontal, a lo largo de la torre.

2.2.5 Plataforma de trabajo y/o descanso

Deben existir en toda torre unas plataformas de trabajo y de descanso a lo largo de esta, para la instalación y mantenimientos de todo tipo de elementos de telecomunicaciones. Se encuentran situadas a las alturas requeridas, en el caso de las plataformas de trabajo circundan todo el perímetro de la torre, es decir los 360°, para facilitar cualquier tipo de operación sobre esta. Por el contrario las plataformas de descanso, suelen tener un tamaño reducido, pues su misión es proporcionar un espacio al trabajador donde puede realizar una pausa, sin correr ningún riesgo, al subir o bajar de la torre. Su estructura suele estar fabricadas del material de la torre, con planchas de acero estriados y se completan con puertas abatibles y barandillas de protección.



Figura N° 2.4.- Plataforma de trabajo o descanso

2.2.6 Estrella estabilizadora

Este componente únicamente se utiliza en el caso de las torres ventadas. Consiste en una estructura auxiliar sobre la torre cuya función es impedir la posible torsión, producida por el efecto de los cables que sujetan la estructura, ya que la acción de estos tiende a desestabilizarla creando momentos torsores en los puntos de anclaje de la torre.



Figura N° 2.5.- Estrella estabilizadora, para torres ventadas

2.2.7 Sistema de protección contra descargas

La protección en una torre contra tormentas eléctricas en ningún caso puede ser absoluta, pero sí que se puede realizar una protección adecuada basada en la experiencia adquirida con los años y por medio del conocimiento de la descarga que producirían los rayos.

La protección contra descargas eléctricas atmosféricas en la torres se efectúa mediante la colocación de pararrayos en la cúspide de la misma y un cable a lo largo de toda la longitud de la torre hasta la tierra. Aunque en la práctica suele ser más conveniente la utilización de la propia torre para llevar la energía del rayo hacia la tierra ya que es menor su inductancia.

Es importante una correcta protección ya que en el posible de que una descarga eléctrica atmosférica impactase en la torre, esta ha de poder conducir la mayoría

de la corriente hacia la tierra y reducir al máximo el impacto de este sobre los equipos de transmisión.

2.2.8 Sistema de señalización nocturno o balizamiento nocturno

El balizamiento nocturno consiste en la instalación de un equipos de baliza en la cúspide de las torres y un equipo de reserva, tal y como obliga el reglamento de la O.A.C.I. (Organización Internacional de la Aviación Civil).

Su principal función es el impacto de aeronaves durante la noche o en situaciones de visibilidad reducida, se han de colocar en estructuras que superen los 25m.

Funcionan mediante una cédula que capta la luminosidad, y toma los valores, cuando esta es inferior al dato que tiene almacenado, automáticamente se activan.



Figura N° 2.6.- Pararrayo y balizaje nocturno

2.2.9 Balizamiento diurno

Para el balizamiento diurno se utilizará pintura acrílica, látex base agua o poliuretano en franjas de colores rojo y blanco alternados, cumpliendo así el reglamento de la O.A.C.I. (Organización Internacional de la Aviación Civil).

Este se ha de componer de 7 franjas, siendo 4 de estas rojas y la 3 restantes blancas. Por tanto, siempre se ha de iniciar con rojo y ha de terminar se con el mismo color.

Este tipo de balizamiento no es obligatorio para todas las torres, únicamente se aplicará en zonas dónde sea zona de paso de aeronaves y zonas colindantes.

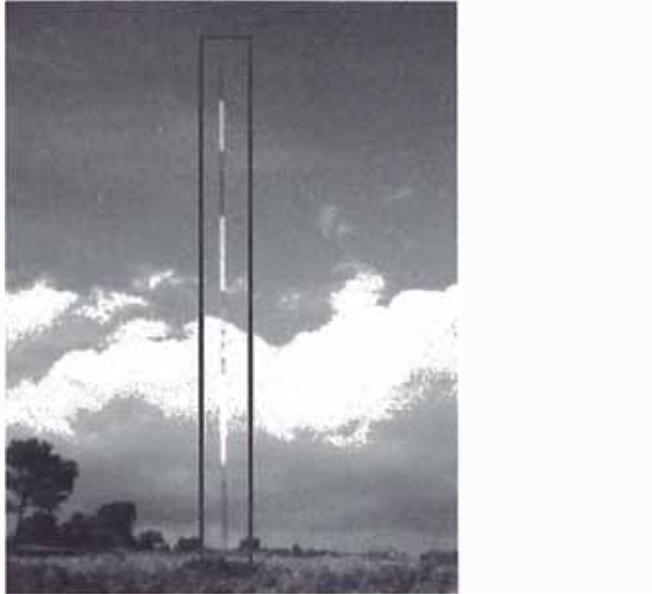


Figura N° 2.7.- balizaje diurno

2.2.10 Mimetizaciones

En la actualidad además de la instalación de torres monopolo, se están instalando debido a la repercusión que está teniendo el tema de la radiaciones en cuanto a la salud, se está procediendo a instalar algunos adornos cuya misión es ocultar las antenas y equipos de transmisión, y no causar un fuerte impacto visual.

Se aprovecha estas pequeñas estructuras, para la instalación de carteles publicitarios, suelen ser cilíndricos o triangulares, y suelen estar realizados de fibra de carbono, que permitan pasar las radiaciones que emiten las antenas a través de ellas.

Es muy importante tener en cuenta este tipo de objetos, a la hora de realizar el cálculo de estructuras puesto que aumenta el peso y resistencia al viento.



Figura N° 2.8.- Mimetizado de torre monopolo

2.2.11 Conexión a red de tierras

Mediante esta medida se consigue que la torres pueda enviar al sistema de tierras cualquiera de las posibles descargas eléctricas que pueda recibir, y reducir al máximo el impacto de estas sobre los equipos que trabajan en la estación base.

Se realiza soldando un cable de cobre o aluminio forrado a cada una de las patas de la torre y conectando dicho cable con la red de tierras. Es importante que el cable de tierra se encuentre forrado, ya que si no debido al entrar en contacto con el acero, formaría celda galvánica y en consecuencia el acero se corroe con el consiguiente deterioro y pérdida de propiedades de las estructura.

2.2.12 Protección contra la corrosión

Resulta fundamental una correcta protección contra la corrosión en los elementos que configuran la totalidad de la torre, desde perfiles hasta soldaduras, pasando por tuercas, tornillos y demás accesorios, ya que la aparición de esta puede suponer la degradación de la estructura y sistemas con la correspondiente pérdida de producto y aumento del riesgo de accidentes.

La corrosión de estos elementos viene dada por el tipo de atmósfera que predomina en el lugar donde se hallen situadas. Siempre será necesario

proteger los elementos de acero mediante un tratamiento superficial a base de cincado electrolítico consistente en la inmersión de todos sus elementos en zinc en estado de fusión con espesores que estarán determinados según la mayor o menos agresividad de la atmósfera que los envuelve, debiendo tomar mayores precauciones en la zona de ambiente más dañino como industrias, ciudades y costas marítimas, esto es, aplicando capas adicionales de pinturas protectoras que se adhieran al zinc.

La elección del galvanizado proporcionará las siguientes propiedades:

- ✓ Mayor duración
- ✓ Evita el mantenimiento
- ✓ Bajo costo
- ✓ Mayor resistencia
- ✓ Recubrimiento integral

2.2.13 Cimentación

La cimentación o anclaje necesario para implantar una torre es de suma importancia, ya que de esta depende la seguridad de la torre, sobre todo el momento de vuelco y la resistencia a las fuerzas que presentan las cargas que soporta la torre (resistencia al viento) y del peso de toda la estructura.

Para la memoria de cálculo de la cimentación, se necesitan de los resultados de la mecánica de suelo del área donde se instalará la torre con el objeto de efectuar los cálculos más realistas posibles y en congruencia con las características del terreno.

El cálculo de la cimentación de las torres de celosía se diseña tanto a fuerzas puntuales a compresión y a tracción y otros casos a flexión, según esos planteamientos las cimentaciones pueden ser:

- ✓ Zapatas aisladas
- ✓ Zapatas aisladas conectadas con vigas
- ✓ Zapatas combinadas

- ✓ Plateas de cimentación
- ✓ Cimentaciones con pilotes o cimentaciones profundas

Las cimentaciones planteadas pueden ser de concreto armado como de estructuras de acero, estos tipos de cimentaciones conformados por solo estructuras de acero se usan generalmente donde el acceso a llevar materiales para la elaboración del concreto es casi imposible o es muy costoso.



Figura N° 2.9.- Cimentación para torres tipo monopolo



Figura N° 2.10.- Cimentación para torres autoportadas triangulares

2.3 TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

El tipo y dimensiones de una torre para telecomunicaciones va ligado fundamentalmente a:

- ✓ El sistema de comunicación a instalar.
- ✓ El terreno disponible
- ✓ Tipo y cantidad de antenas a instalar
- ✓ Ubicación para las consideraciones de los factores de viento y sismo.

2.3.1 Torres autoportadas

Este tipo de Torre se instala fundamentalmente cuando las limitaciones de terreno son importantes y/o cuando la cantidad y dimensiones de las antenas así lo obligan.

Son las estructuras más conocidas; su diseño se basa, como su nombre lo indica, en que la torre se mantenga en pie gracias a que los esfuerzos se les transmiten a las patas que están ancladas a bases cimentados a varios metros bajo el nivel del suelo. Normalmente, las torres autoportadas son de tipo piramidal con tres y cuatro patas; sin embargo las hay de cuatro patas completamente verticales. Este tipo de torres cuenta normalmente con escaleras de ascenso, plataformas de descanso y, sobre todo, con ángulos que sirven como puntos de anclaje lo suficientemente fuertes para detener la caída del trabajador cuando se encuentra conectado con sus equipos de protección.

Las torres autoportadas están divididas en paneles o módulos, los cuales presentan una variedad de caras cada panel. Dichos paneles cuentan con elementos como montantes, diagonales, horizontales, diagonales redundantes, horizontales, redundantes y escuadras, los cuales son conectados mediante pernos.



Figura N° 2.11.- Torre Autosoportada cuadrada

2.3.2 Torres ventadas

Las Torres Ventadas son más económicas que las autosoportadas de la misma altura y se instalan cuando no hay limitaciones en el terreno; en general necesita un área que permita inscribir una circunferencia de radio aproximadamente igual a la mitad o la tercera parte de la altura de la Torre.

Las torres ventadas van ubicadas en la azotea de las viviendas como también directamente sobre el suelo. Estas Torres pueden ser de base triangular o base cuadrada.



Figura N° 2.12.- Torre Ventada ubicado en azotea

2.3.3 Torres monopolos

Los monopolos son estructuras autoportadas, estructuras monolíticas en forma de postes inmensos, contruidos de acero y armados por partes, una sobre otra. Los monopolos cuentan con una escalerilla, con pequeñas plataformas de descanso, con un espacio reducido para los equipos y su cableado, que dejan al trabajador en condiciones mínimas de movimiento, con dificultades para su aseguramiento y, sobre todo, con pocos lugares lo suficientemente resistentes para conectar sus equipos de protección contra caídas.

Se trata de estructuras troncocónicas con sección poligonal y un determinado número de caras, realizadas con plancha de acero formando tubos cónicos de que encajan perfectamente unos sobre otros a fin de formar una estructura estable.

Las alturas están comprendidas entre los 3m y los 48m, pudiendo llegar a alturas superiores.

La principal característica de este tipo de torres es su facilidad de instalación y que son instaladas en lugares donde se requiere conservar la estética y no causar impacto visual en exceso, a menudo se pintan de un color o se adornan para que permitan pasar desapercibidas.



Figura N° 2.13.- Torre Monopolo

2.4 NORMAS

Existen una variedad de normas para el diseño de torres de telecomunicaciones, a continuación mencionaremos algunas normas.

Las consideraciones de carga en las torres pueden calcularse de acuerdo a lo especificado en las siguientes normas:

- ✓ BS 8100 Part 1 1986
- ✓ BS 8100 Part 4 1995
- ✓ EIA/TIA-222-F-1996
- ✓ **ANSI/TIA-222-G-2005**
- ✓ ANSI/ASCE 7-95

La capacidad de los miembros o elementos estructurales de las torres pueden ser comparados con los requisitos especificados en las siguientes normas:

- ✓ BS 8100 Part 3
- ✓ BS 449
- ✓ ASCE 10-90, ASCE 10-97
- ✓ EIA/TIA-222-F-1996
- ✓ **ANSI/TIA-222-G-2005**

En el siguiente capítulo se describirán las especificaciones generales de la norma ANSI/TIA-222-G-2005, la cual ha sido elegida como guía para la elaboración del diseño de la torre autoportada de 120 metros de altura.

El diseño de la torre autoportada de telecomunicaciones se analizará en base a la norma ANSI/TIA-222-G debido a que dicha norma describe los requisitos para el diseño estructural y la fabricación de torres estructurales nuevas, así como para la evaluación de torres estructurales existentes, además de requisitos para el diseño estructural, la fabricación y la modificación de las estructuras, soportes, componentes estructurales, cables, aislantes y cimentaciones que soportan antenas.

2.5 PROGRAMAS

Entre los programas para calcular estructuras de torres de telecomunicación tenemos:

- ✓ MS TOWER V6.02.002
- ✓ RISA TOWER V5.4.1.5
- ✓ SAP2000 V15.2.0

2.5.1 Ms tower v6.02.002

La torre será modelada en el programa MStower ya que es un programa especializado que ayuda en el análisis y la comprobación de las estructuras de acero como torres autosoportadas de celosía, torres ventadas y monopolos de acero. MStower contiene opciones para definir la geometría, la carga, el análisis, los resultados, y la comprobación de los miembros que componen la estructura.

Las torres, pueden ser de tres o cuatro lados o de un solo polo tubular en voladizo, se ensamblan mediante la combinación de una serie de caras o paneles, plan o techos, etc. El perfil de la torre se define dando a la altura de los paneles individuales y el ancho en puntos donde cambia de dirección. Todos los otros anchos se obtienen por interpolación. El programa contiene una amplia gama de paneles estándar, que son más de 100 tipos diferentes de paneles disponibles.

Si un panel estándar adecuado no está disponible, el sistema acepta "Paneles Definidos por el Usuario" (UDP). Mientras que éstos requieren muchos más datos que un panel estándar, que permiten que el sistema que se utilizará es para prácticamente cualquier configuración de torre. Una UDP puede consistir en cualquier figura, desde unos pocos miembros que componen la mitad de un panel de cara a una sección completa en tres dimensiones de la torre.

El resultado del proceso de construcción de la torre es un archivo completo de datos.

El módulo de carga de MStower calcula cargas debidas al peso propio, el hielo y el viento en la torre. Además de computar las cargas de viento en la torre al descubierto el programa es capaz de tener en cuenta una amplia gama de elementos que se encuentran en las torres de comunicación.

El MStower presenta bibliotecas que contienen los datos que describen las características físicas de una amplia gama de tipos de antenas, cables,

escaleras, plataformas, perfiles, etc. Las bibliotecas son archivos de texto sin formato y pueden ser fácilmente añadidos por los usuarios.

El uso de bibliotecas simplifica la modelación de los datos necesarios para calcular las cargas en la torre. Para describir completamente una antena de su referencia de la biblioteca, su ubicación en la torre, y su soporte son obligatorios. MStower extraerá todos los demás datos de la biblioteca, calcular las fuerzas que actúan sobre la antena (carga muerta, hielo-carga, y las cargas de viento) y transferirlos a la torre como un conjunto de fuerzas estáticamente equivalentes.

MStower muestra la torre y todos los elementos o cargas consideradas. Además de la representación visual, cualquier elemento puede ser mostrado con los gráficos el cursor para obtener su identificación, localización, referencia de la biblioteca, y otros datos pertinentes.

La fuerza de los miembros puede ser contrastada con las normas de los códigos, los resultados de la comprobación de los miembros o elementos podrán verse como una pantalla gráfica con el color en el que un miembro se muestra en función de su relación máxima de carga/capacidad.

También se puede mostrar reacciones para el cálculo de la cimentación, desplazamientos y rotaciones de la estructura.

CAPÍTULO III: RESUMEN DE NORMA ANSI/TIA-222-G

3.1 ALCANCES

El presente capítulo contiene un resumen de la norma ANSI/TIA-222-G para el diseño de torres autosoportadas de telecomunicaciones, empieza definiendo las cargas a considerar cual es la carga más influyente para el diseño de las torres, finalmente entrando al diseño de elementos que conforman la torre.

Dicha norma ANSI/TIA-222G se puede adquirir de la siguiente página web:

https://global.ihs.com/search_res.cfm?RID=TIA&INPUT_DOC_NUMBER=TIA-222

3.2 CARGAS

Esta sección proporciona requisitos de carga mínima para las torres de telecomunicaciones, las cargas a considerar son las cargas permanentes, las cargas debido viento y las cargas debido al sismo.

3.2.1 Cargas permanentes

Carga permanente, D: Peso de la estructura y los accesorios, para el diseño de las cimentaciones, el peso del suelo y la subestructura.

3.2.2 Cargas de viento

Para el cálculo de las cargas debido al viento se determinara la velocidad de viento en la zona a estudiar, dicha velocidad de diseño es extraída del Mapa eólico del Perú, ANEXO 2 de la norma técnica E.020 (Cargas), la velocidad básica de viento corresponde a la velocidad viento a 10m sobre el nivel del suelo para un periodo de retorno de 50 años.

La carga de viento de diseño deberá incluir la suma de las fuerzas de viento de diseño horizontales aplicadas a la estructura en la dirección del viento más las fuerzas de viento de diseño sobre los accesorios. Se deberá asumir que todos

los accesorios, incluyendo las antenas, soportes y cables, permanecerán intactos y unidos a la estructura.

La fuerza de viento de diseño, F_W se deberá determinar de la siguiente manera:

$$F_W = F_{ST} + F_{AG} \dots \dots \dots 3.1$$

Dónde:

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

F_{AG} = Fuerza de viento de diseño sobre los accesorios

Se determinaran parámetros, que dependen de la importancia de la estructura, la topografía del área estudiada, el área de exposición al viento, para luego calcular la fuerza de viento sobre la estructura y sobre los accesorios.

3.2.2.1 Clasificación de las estructuras

A fines de determinar de las cargas nominales de viento, las estructuras se clasificarán de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla N° 3.1.- Clasificación de la Estructura

| Descripción de la Estructura | Clase |
|---|-------|
| Estructuras que, debido a su altura, uso o ubicación, en caso de falla representan un riesgo bajo en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, y/o estructuras utilizadas para servicios opcionales y/o en las cuales una demora en el restablecimiento de los servicios sería aceptable. | I |
| Estructuras que, debido a su altura, uso o ubicación, en caso de falla representan un riesgo considerable en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, y/o estructuras que se utilizan para servicios que se pueden prestar por otros medios. | II |
| Estructuras que, debido a su altura, uso o ubicación, en caso de falla representan un riesgo elevado en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, y/o estructuras que se utilizan principalmente para comunicaciones esenciales. | III |

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

Tabla N° 3.2.- Factor de Importancia

| Clase de la estructura | Carga de viento sin hielo |
|------------------------|---------------------------|
| I | 0.87 |
| II | 1.00 |
| III | 1.15 |

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

3.2.2.2 Categorías topográficas

Las estructuras se deberán asignar a una de las categorías topográficas siguientes:

Categoría 1: No hay cambios bruscos en la topografía general, por ejemplo terrenos llanos u ondulantes. No es necesario considerar el efecto acelerador del viento.

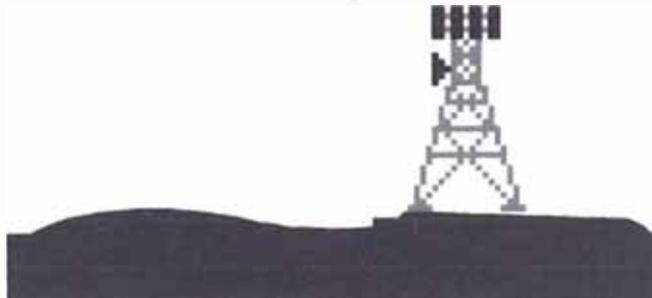


Figura N° 3.1.- Ubicación de torre en terreno llano

Categoría 2: Estructuras ubicadas en la cresta de una escarpa o cerca de la misma. Se deberá considerar que se produce un efecto acelerador del viento en todas las direcciones. Las estructuras ubicadas verticalmente en la mitad inferior de una escarpa u horizontalmente a una distancia mayor que 8 veces la altura de la escarpa a partir de su cresta podrá ser considerada como pertenecientes a la categoría topográfica 1.

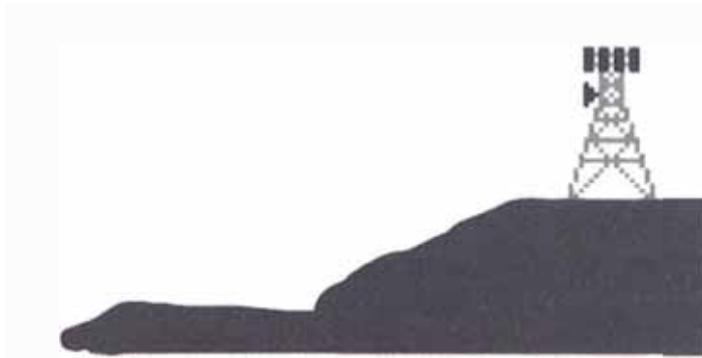


Figura N° 3.2.- Ubicación de torre en cresta

Categoría 3: Estructuras ubicadas en la mitad superior de una colina. Se deberá considerar que se produce un efecto acelerador del viento en todas las direcciones. Las estructuras ubicadas verticalmente en la mitad inferior de una colina podrán ser consideradas como pertenecientes a la categoría topográfica 1.

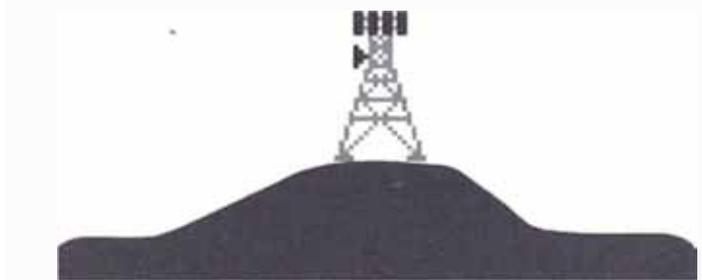


Figura N° 3.3.- Ubicación de torre en un colina

Categoría 4: Estructuras ubicadas en la mitad superior de una cuchilla. Se deberá considerar que se produce un efecto acelerador del viento en todas las direcciones. Las estructuras ubicadas verticalmente en la mitad inferior de una cuchilla podrán ser consideradas como pertenecientes a la categoría topográfica 1.

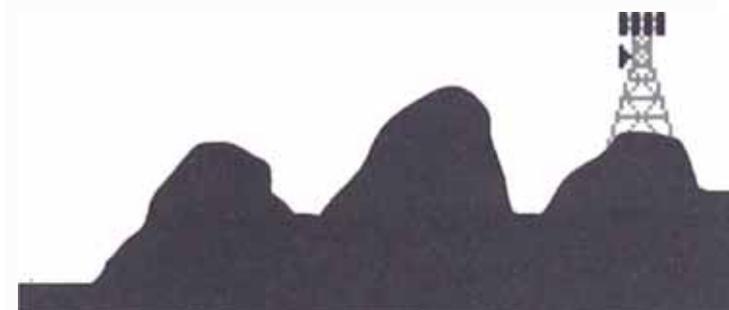


Figura N° 3.4.- Ubicación de torre en una cuchilla

Categoría 5: Los criterios para el efecto acelerador del viento se deberán basar en investigaciones específicas para el sitio de emplazamiento.

Tabla N° 3.3.- Coeficientes de categoría topográfica

| Categoría topográfica | Kt | f |
|-----------------------|------|------|
| 2 | 0.43 | 1.25 |
| 3 | 0.53 | 2.00 |
| 4 | 0.72 | 1.50 |

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

3.2.2.3 Categorías de exposición

Se deberá determinar una categoría de exposición que refleje adecuadamente las características de las irregularidades superficiales del terreno en el sitio de emplazamiento. Se deberán tomar en cuenta las variaciones de la rugosidad superficial del terreno que surjan como consecuencia de la topografía natural y la vegetación, así como las construcciones existentes. Las estructuras se deberán asignar a una de las categorías de exposición siguientes:

Exposición B: Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosos obstáculos de tamaño mayor o igual al de una vivienda unifamiliar poco separados entre sí. El uso de esta exposición se deberá limitar a aquellas áreas en las cuales la estructura esté rodeada en todas direcciones por terreno representativo de la Exposición B en una distancia de al menos 800 m o veinte veces la altura de la estructura, cualquiera sea el valor que resulte mayor.

Exposición C: Terreno abierto con obstáculos dispersos de altura generalmente inferior a 9.1 m. Esta categoría incluye el campo abierto, los prados y las franjas costeras en las regiones de huracanes.

Exposición D: Franjas costeras planas y sin obstáculos expuestas a vientos provenientes de aguas abiertas (excluyendo las franjas costeras en las regiones de huracanes) en una distancia de al menos 1.61 km. Las franjas costeras de exposición D incluyen los cursos de agua interiores, los lagos y las áreas costeras fuera de las regiones de huracanes. La exposición D se extiende tierra

adentro en una distancia de 200 m o veinte veces la altura de la estructura, cualquiera sea el valor que resulte mayor. Las marismas, las salinas y otros terrenos similares se deberán considerar como exposición D.

Tabla N° 3.4.- Coeficientes según categoría de Exposición

| Categoría de exposición | Zg | α | Kzmin | Ke |
|-------------------------|-------|------|-------|------|
| B | 366 m | 7.0 | 0.70 | 0.90 |
| C | 274 m | 9.5 | 0.85 | 1.00 |
| D | 213 m | 11.5 | 1.03 | 1.10 |

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

Tabla N° 3.5.- Factor de probabilidad de dirección del viento

| Tipo de estructura | Factor de probabilidad de la dirección del viento, Kd |
|--|---|
| Estructuras de celosía con secciones transversales triangulares, cuadradas o rectangulares incluyendo los accesorios | 0.85 |
| Estructuras tubulares tipo monopolo; estructuras de celosía con secciones transversales que no sean triangulares, cuadradas ni rectangulares; diseño por resistencia de los accesorios | 0.95 |

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

3.2.2.4 Fuerza de viento de diseño sobre la estructura

La fuerza de viento de diseño, F_{ST} aplicada a cada sección de una estructura se deberá determinar de la siguiente manera:

$$F_{ST} = q_z * G_h * (EPA)_S \dots\dots\dots 3.2$$

Dónde:

- F_{ST} = fuerza de viento de diseño horizontal sobre la estructura en la dirección del viento, N
- q_z = presión dinámica, N/m²
- G_h = factor de ráfaga, 0.85 para estructuras autoportadas menores a 137m.

$(EPA)_S$ = área proyectada efectiva de la estructura, m²

Presión dinámica

La presión dinámica, q_z (N/m²), evaluada a la altura z se deberá calcular de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * I * V^2 \dots\dots\dots 3.3$$

Dónde:

K_z = coeficiente de presión dinámica

K_{zt} = factor topográfico

K_d = factor de probabilidad de la dirección del viento, indicado en la Tabla 3.5

V = velocidad básica del viento para la condición de carga investigada, m/s

I = factor de importancia, indicado en la Tabla N° 3.2

Coeficiente de presión dinámica

En base a la categoría de exposición determinada, se deberá calcular un coeficiente de presión dinámica, K_z de la siguiente manera:

$$K_{zmin} \leq K_z = 2.01 * (Z/Z_g)^{\frac{2}{\alpha}} \leq 2.01 \dots\dots\dots 3.4$$

Dónde:

Z = altura sobre el nivel del terreno en la base de la estructura, m

Z_g , α y K_{zmin} factores indicados en Tabla N° 3.4

Factor topográfico

El efecto acelerador del viento se deberá incluir en el cálculo de las cargas de viento de diseño usando el factor K_{zt} , determinado mediante la siguiente ecuación.

$$K_{zt} = \left[1 + \frac{K_e \cdot K_t}{K_h} \right]^2 \dots\dots\dots 3.5$$

Dónde:

K_h = factor de reducción dependiente de la altura dado por la siguiente ecuación:

$$K_h = e^{\left(\frac{f \cdot z}{H}\right)} \dots\dots\dots 3.6$$

e = base de los logaritmos naturales = 2.718

K_e = constante del terreno indicada en la Tabla N° 3.4

K_t = constante del terreno indicada en la Tabla N° 3.3

f = factor de atenuación dependiente de la altura indicado en la Tabla N° 3.3

z = altura sobre el nivel del terreno a la base de la estructura, m

H = altura de la cresta sobre el terreno circundante, m

K_{zt} = 1.0, para la categoría topográfica 1.

Área proyectada efectiva de las estructuras de celosía

El área proyectada efectiva, $(EPA)_S$ de los componentes estructurales de una sección se deberá determinar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(EPA)_S = C_f [D_f \sum A_f + D_r \sum A_r R_r] \dots\dots\dots 3.7$$

Dónde:

C_f , para secciones transversales cuadradas

$$C_f = 4.0\varepsilon^2 - 5.9\varepsilon + 4.0 \dots\dots\dots 3.8$$

C_f , Para secciones transversales triangulares

$$C_f = 3.4\varepsilon^2 - 4.7\varepsilon + 3.4 \dots\dots\dots 3.9$$

ε = relación de solidez

$$\varepsilon = \frac{(A_f + A_r)}{A_g} \dots\dots\dots 3.10$$

A_f = área proyectada de los componentes estructurales planos en una cara de la sección, m²

A_r = área proyectada de los componentes estructurales circulares en una cara de la sección, incluyendo el área proyectada del hielo sobre los componentes estructurales planos y circulares en una cara para aquellas combinaciones que incluyen cargas de hielo, m²

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

D_f = factor de dirección del viento para componentes estructurales planos, indicado en la Tabla N° 3.6

D_r = factor de dirección del viento para componentes estructurales circulares, indicado en la Tabla N° 3.6

R_r = factor de reducción para un elemento circular

$$R_r = 0.36 + 0.26\varepsilon + 0.97\varepsilon^2 - 0.63\varepsilon^3 \dots\dots\dots 3.11$$

Cuando $C > 8.7$ para condiciones sin hielo

Dónde:

$$C = [I * K_z * K_{zt}]^{1/2} V * D \dots\dots\dots 3.12$$

I = factor de importancia, indicado en la Tabla N° 3.2

K_z = coeficiente de presión dinámica

K_{zt} = factor topográfico

V = velocidad básica del viento para la condición de carga investigada, m/s

D = diámetro exterior del componente estructural sin hielo, m.

Tabla N° 3.6.- Factores de direcciones de viento

| Sección transversal de la torre | Cuadrada | | Triangular | | |
|---------------------------------|----------|----------------------|------------|------|------|
| | Normal | 45° | Normal | 60° | ±90° |
| D _f | 1.00 | 1 + 0.75ε (1.2 máx.) | 1.00 | 0.80 | 0.85 |
| D _r | 1.00 | 1 + 0.75ε (1.2 máx.) | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

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

Fuente: Norma ANSI/TIA-222-G

3.2.2.5 Fuerza de viento de diseño sobre los accesorios

La fuerza de viento de diseño sobre los accesorios (ya sean puntuales o lineales pero excluyendo las antenas de microondas), F_A se deberá determinar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_A = q_z * G_h * (EPA)_A \dots\dots\dots 3.13$$

Dónde:

- q_z = presión dinámica a la altura del eje del accesorio, N/m²
- G_h = factor de ráfaga
- $(EPA)_A$ = área proyectada efectiva del accesorio, m²

3.2.3 Cargas sísmicas

En el caso de sismo se realizara un análisis estático, para lo cual se calculara el coeficiente sísmico estático según los parámetros sísmicos de la norma técnica E.030 (Sismo).

Entre los parámetros de sitio usados y establecidos por las Normas de Estructuras tenemos:

Zonificación (Z)

De acuerdo a lo anterior la Norma E-0.30 de diseño sismo-resistente asigna un factor "Z" a cada una de las 3 zonas del territorio nacional. Este factor representa la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Parámetros del Suelo (S)

Este parámetro está definido en base a los perfiles de suelo, se clasifican tomando en cuenta sus propiedades mecánicas, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

Factor de amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define al factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente expresión: $C \geq 0.125R$

Categoría de las edificaciones (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo a la categoría de uso de la edificación.

Sistemas estructurales (R)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismo resistente predominante en cada dirección. De acuerdo a la clasificación de una estructura se elige un factor de reducción de la fuerza sísmica (R).

3.2.4 Combinaciones de cargas mayoradas

- ✓ COMB1: 1.2 D + 1.6 W
- ✓ COMB2: 0.9 D + 1.6 W
- ✓ COMB3: 1.2 D + 1.0 E
- ✓ COMB4: 0.9 D + 1.0 E

Dónde:

- D = carga permanente de la estructura y los accesorios
- E = carga sísmica
- W = carga de viento sin hielo

Excepciones:

- ✓ No es necesario considerar los efectos de la temperatura para las estructuras autoportadas.
- ✓ No es necesario considerar las cargas de hielo y sísmicas para las estructuras de la Clase I.

3.2.5 Cargas de servicio

Las cargas de servicio se deberán definir de acuerdo con la siguiente combinación de cargas para una velocidad básica del viento de 27 m/s:

- ✓ $1.0D + 1.0 W$

Las fuerzas de viento horizontales para determinar las cargas de servicio se deberán basar en un factor de importancia, I , de 1.00, y un factor de direccionalidad, K_d , de 0.85 para todas las estructuras. El coeficiente de presión dinámica, K_z , el factor de ráfaga, G_h , y el factor topográfico, K_{zt} , deberán ser iguales a los valores para la condición correspondiente al estado límite de resistencia.

3.2.6 Desplazamientos y rotaciones

A menos que se requiera lo contrario, en ningún punto de una estructura las deformaciones bajo cargas de servicio deberán superar los siguientes límites:

- ✓ Una rotación de 4 grados respecto del eje vertical (torsión)
- ✓ Un desplazamiento igual al 3% de la altura de la estructura.

De acuerdo las especificaciones de las antenas a instalar en las torres, la rotación máxima deberá ser de 0.75° , y el desplazamiento máximo en la parte más alta de la torre deberá ser de 0.75° .

3.3 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Esta sección se refiere al diseño por resistencia de los perfiles angulares de la torres, dichos elementos están sometidos a fuerza a tracción y compresión.

3.3.1 Relaciones de esbeltez

La relación de esbeltez, L/r , no deberá ser mayor que:

- ✓ 150 para los elementos de los montantes
- ✓ 200 para los elementos comprimidos principales excepto los elementos de los montantes,
- ✓ 250 para los elementos secundarios, y
- ✓ 300 para los elementos traccionados, excepto para el arriostamiento y los cables de las Pernos de tracción, también para elementos armados

3.3.2 Esbeltez de elementos armados

Los componentes individuales de los elementos armados compuestos por dos o más perfiles se deberán conectar entre sí a intervalos, a_i , de manera tal que la máxima relación de esbeltez (a_i/r_i) entre conectores de cada uno de los perfiles no sea mayor que 100% de la relación de esbeltez efectiva determinante del elemento armado.

Para conectores intermedios que son pernos de apriete calibrado:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a_i}{r_i}\right)^2} \dots\dots\dots 3.14$$

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o$ = relación de esbeltez efectiva de un elemento armado actuando como una unidad

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ = relación de esbeltez efectiva modificada de un elemento armado

a_i/r_i = mayor relación de esbeltez de los componentes individuales

a_i = distancia entre conectores

r_i = mínimo radio de giro de un componente individual

3.4 DISEÑO DE MIEMBROS A COMPRESIÓN

3.4.1 Tensión de fluencia efectiva

Para los perfiles angulares de 60° y 90°, la tensión de fluencia efectiva para compresión axial, F_y , se deberá determinar de la siguiente manera:

Cuando: $\frac{w}{t} \leq 0.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F'y = F_y \dots \dots \dots 3.15$$

Cuando: $0.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \frac{w}{t} \leq 0.85 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F'y = \left[1.677 - 0.677 \left(\frac{w/t}{0.47 \sqrt{E/F_y}} \right) \right] F_y \dots \dots \dots 3.16$$

Cuando: $0.85 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{w}{t} \leq 25$

$$F'y = [0.0332 \pi^2 E / (w/t)^2] \dots \dots \dots 3.17$$

Dónde:

- w = Ancho del perfil angular, mm
- t = espesor del perfil angular, mm
- Es = Modulo de elasticidad del acero, Mpa
- Fy = Fluencia del acero, Mpa
- F'y = Fluencia efectiva para la compresión axial, Mpa

La relación entre el ancho y el espesor (w/t) de los perfiles angulares no deberá ser mayor que 25.

3.4.2 Resistencia axial de diseño

La resistencia axial de diseño de los elementos comprimidos, $\phi_c P_n$ se deberá tomar como:

$$\phi_c = 0.90$$

$$P_n = A_g F_{cr} \dots \dots \dots 3.18$$

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F'_y \dots \dots \dots 3.19$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F'_y \dots \dots \dots 3.20$$

Dónde:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F'_y}{E}} \dots \dots \dots 3.21$$

- ϕ_c = Factor de resistencia para compresión
- P_n = Resistencia axial nominal, N
- $\phi_c P_n$ = Resistencia axial de diseño a compresión, N
- λ_c = Parámetro de esbeltez
- F_{cr} = Resistencia a la compresión crítica, N
- A_g = Área bruta del elemento, mm²
- F'_y = Tensión de fluencia efectiva, MPa
- E_s = Módulo de elasticidad, MPa
- K = Factor de longitud efectiva
- L = Longitud de un elemento sin arriostamiento lateral, mm
- r = radio de giro determinante respecto del eje de pandeo, mm

3.5 DISEÑO DE MIEMBROS A TRACCIÓN

La resistencia a la tracción axial de diseño, $\phi_t P_n$ de un elemento se deberá tomar como el menor valor entre la fluencia en la sección bruta, la rotura en la sección neta efectiva, o la rotura en bloque por corte.

3.5.1 Para la fluencia por tracción en la sección bruta

$$\phi_t = 0.90$$

$$P_n = F_y A_g \dots \dots \dots 3.22$$

3.5.2 Para rotura por tracción en la sección neta efectiva

$$\phi_t = 0.75$$

$$P_n = F_u A_{en} \dots \dots \dots 3.23$$

3.5.3 Para rotura en bloque por corte

$$\phi_t = 0.75$$

Cuando: $F_u \text{ Ant} \geq 0.6 F_u \text{ Anv}$

$$P_n = 0.6 F_y A_{gy} + F_u \text{ Ant} \leq 0.6 F_u \text{ Anv} + F_u \text{ Ant} \dots \dots \dots 3.24$$

Cuando: $0.6 F_u \text{ Anv} > F_u \text{ Ant}$

$$P_n = 0.6 F_u \text{ Anv} + F_y A_{gt} \leq 0.6 F_u \text{ Anv} + F_u \text{ Ant} \dots \dots \dots 3.25$$

Dónde:

- ϕ_t = Factor de resistencia para tracción
- P_n = Resistencia axial nominal, N
- $\phi_t P_n$ = Resistencia a la tracción axial de diseño, N
- A_g = área bruta, mm²
- A_{en} = área neta efectiva, mm²
- A_{gv} = área bruta sujeta a corte, mm²
- A_{gt} = área bruta sujeta a tracción, mm²
- A_{nv} = área neta sujeta a corte, mm²
- A_{nt} = área neta sujeta a tracción, mm²

3.5.4 Área neta

El área neta de un elemento, A_n , se deberá tomar como la suma de los productos entre el espesor y el ancho neto de cada elemento y se deberá calcular de la siguiente manera:

Al calcular el área neta de la sección, el ancho de los orificios para Pernos se deberá tomar 2 mm mayor que la dimensión nominal del orificio.

3.5.5 Área neta efectiva

Cuando haya una fuerza de tracción transmitida directamente a cada uno de los elementos de la sección transversal de un componente por medio de sujetadores o soldaduras, el área neta efectiva, A_{en} , será igual al área neta A_n .

3.6 UNIONES

3.6.1 Pernos de conexión

Los pernos ASTM A490 y ASTM A325 no se deberán reutilizar una vez que hayan sido puestos en servicio y tensionados más allá del 40% de su capacidad última.

Nota: Para el cálculo de la resistencia a la tracción y al corte de diseño, F_{ub} deberá ser igual a la mínima resistencia a la tracción en base al diámetro de los Pernos.

3.6.2 Distancias a los bordes

Se deberá aplicar la Tabla J3.4 de la Especificación AISC excepto en los bordes cortados, en los cuales la mínima distancia al borde deberá ser igual a 1.5 veces el diámetro del perno.

Preferentemente la mínima separación de los pernos en una línea será igual a 3 veces el diámetro de los pernos, pero esta separación nunca deberá menor que $2 \frac{2}{3}$ diámetros.

3.6.3 Resistencia de las uniones

3.6.3.1 Resistencia al aplastamiento

La resistencia al aplastamiento en los orificios para Pernos o accesorios, $\Phi R_n(N)$, se deberá tomar como:

$$R_n = 1.2 * \left(L_c + \frac{d}{4} \right) * t * F_u \leq 2.4 * d * t * F_u \dots \dots \dots 3.26$$

Dónde:

$$\Phi = 0.80$$

Lc = distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del orificio y el borde de un orificio adyacente o el borde del material, mm

Fu = mínima resistencia a la tracción especificada de la pieza crítica conectada, Mpa

d = diámetro nominal del perno, mm

t = espesor de la pieza crítica conectada, mm

Para las uniones con múltiples Pernos, la resistencia al aplastamiento se deberá tomar igual a la suma de las resistencias al aplastamiento de los Pernos individuales.

3.6.3.2 Resistencia al corte

La resistencia al corte de diseño de un perno, ΦR_{nv} (N) se deberá tomar como:

$$\Phi = 0.75$$

(a) Cuando no hay filetes de rosca incluidos en el plano de corte:

$$R_{nv} = 0.55 \cdot F_{ub} \cdot A_b \dots \dots \dots 3.27$$

(b) Cuando hay filetes de rosca incluidos en el plano de corte:

$$R_{nv} = 0.45 \cdot F_{ub} \cdot A_b \dots \dots \dots 3.28$$

Dónde:

Rnv = Resistencia nominal al corte de un perno o varilla de anclaje, N

Fub = mínima resistencia a la tracción especificada del perno, Mpa

Ab = área nominal del cuerpo no roscado del perno, mm²

3.6.4 Elementos de unión

La resistencia de diseño de los elementos de unión soldados y apernados $\phi_p R_{np}$ (N) deberá ser el menor valor obtenido de acuerdo con el estado límite de fluencia, rotura y rotura en bloque por corte.

$$\phi_p = 0.90 \text{ para fluencia}$$

$$\phi_p = 0.75 \text{ para rotura}$$

$$\phi_p = 0.75 \text{ para rotura en bloque por corte}$$

Para fluencia por tracción

$$R_{np} = F_y * A_{gt} \dots \dots \dots 3.29$$

Para rotura por tracción

$$R_{np} = F_u * A_{nt} \dots \dots \dots 3.30$$

Para fluencia por corte

$$R_{np} = 0.60 * F_y * A_{gv} \dots \dots \dots 3.31$$

Para rotura por corte

$$R_{np} = 0.60 * F_u * A_{nv} \dots \dots \dots 3.32$$

Para rotura en bloque por corte, Ver 3.5.3

Dónde:

R_{np} = resistencia nominal de un elemento de unión, N

A_{gv} = área bruta sujeta a corte, mm²

A_{gt} = área bruta sujeta a tracción, mm²

A_{nv} = área neta sujeta a corte, mm²

A_{nt} = área neta sujeta a tracción, mm²

Nota

El área neta de una placa de conexión no se deberá considerar mayor que 85% del área bruta.

3.7 DISEÑO PERNOS DE ANCLAJE

Para las Pernos de anclaje se deberá satisfacer la siguiente ecuación de interacción:

$$\left(\frac{T_{ub} + \frac{V_{ub}}{\eta}}{\phi R_{nt}} \right) \leq 1$$

$$R_{nt} = F_{ub} \cdot (0.75 A_b)$$

Dónde:

$$\phi = 0.80$$

T_{ub} = mayor fuerza de tracción

V_{ub} = fuerza de corte correspondiente a T_{ub}

R_{nt} = resistencia nominal a la tracción de la varilla de anclaje

F_{ub} = mínima resistencia a la tracción especificada del perno

A_b = área nominal del cuerpo no roscado del perno

$$\eta = 0.50$$

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE TORRE AUTOSOPORTADA DE 120M DE ALTURA

4.1 ALCANCES

En este capítulo se aplicara lo descrito en los anteriores capítulos para diseñar una de las 11 torres de 120m de altura que se ubicaran en la selva de Yurimaguas. En el presente informe describe los criterios adoptados para el diseño estructural de una torre de 120.00 m de altura.

En la presente memoria se especifican la ubicación del proyecto, la geometría de la torre, los materiales utilizados, las normas, las cargas consideradas y sus combinaciones, método de análisis, y por último el modelamiento mediante un software.

4.1.1 Proyecto

“Red de fibra óptica de telefónica, yurimaguas – iquitos”, El proyecto de fibra óptica de telefónica Yurimaguas – Iquitos, consiste en la instalación de 13 torres autosoportadas de más de 100 m de altura, en las cuales se instalar antenas microondas de diámetro 3.7 m a una altura mínima de 100 m de altura, para que dichas antenas cumplan con su objetivo de transmitir señales de telecomunicaciones.

4.1.2 Ubicación

El cálculo se realizara para el sitio más desfavorable, el cual se ubica en el Km 83.5 carretera Iquitos – Nauta, sector de Nuevo Fortuna, distrito de Nauta, provincia Loreto, departamento de Loreto. El área investigada se encuentra en la Zona 18 M, en la coordenada UTM 656736 E, 9510104 N. La Figura adjunta muestra una imagen Google Earth del área investigada. El plano HE-NF-01 presenta la ubicación del área del proyecto.

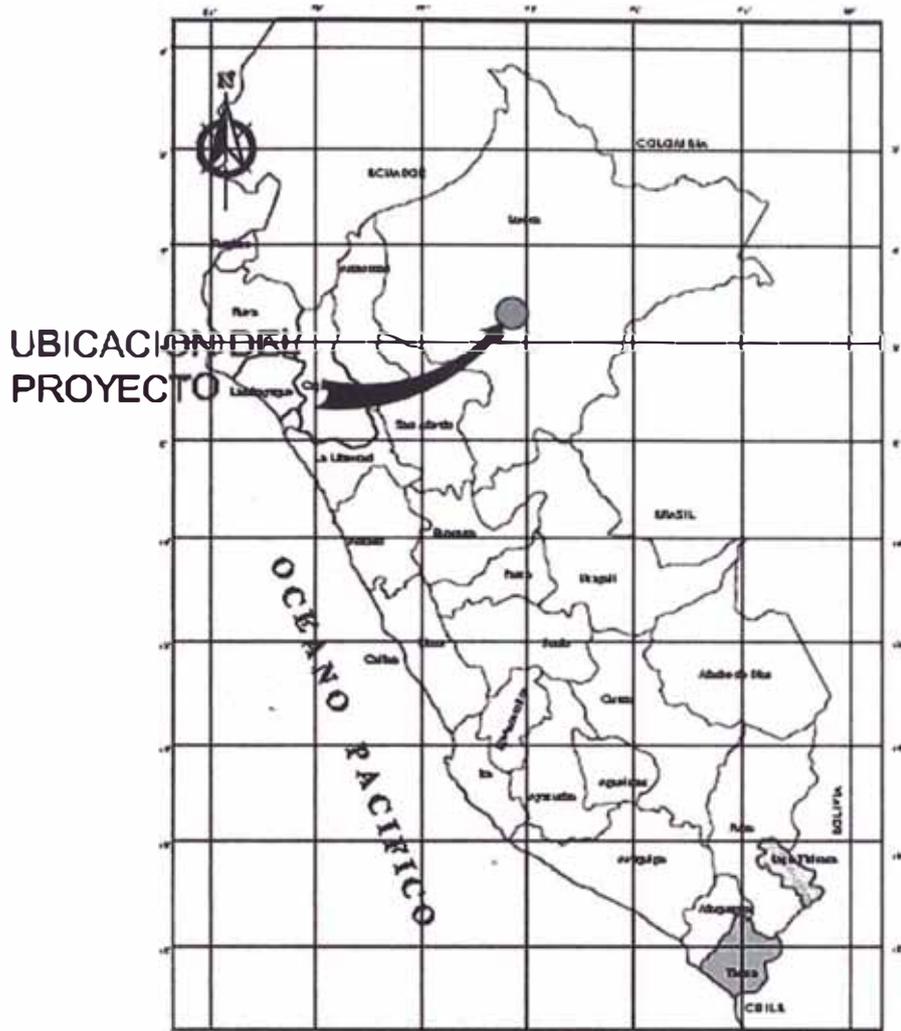


Figura N° 4.1.- Ubicación del sitio en el Mapa del Perú



Figura N° 4.2.- Ubicación del sitio en el Mapa del departamento Loreto

4.1.3 Elección del tipo de torre

El tipo de torre de a instalar depende de:

- ✓ Área de terreno disponible
- ✓ Altura de mínima de ubicación de antenas
- ✓ Cargas a considerar

Las torres tipo monopolo ocupan un área mínimo, pero a grandes alturas presentan desplazamientos que superan el límite permitido.

Las torres ventadas pueden pasar alturas de 100m, pero necesitan un área de terreno excesivamente grande para ubicación de sus cables de viento, este tipo de torre presentan rotaciones grandes debido al cargas que se imponen sobre dicha torre.

Las torres autosoportadas pueden pasar de 100m, ocupan un área de terreno mínimo y soportan grandes cargas que se le imponen. Por lo tanto el tipo de torre a elegir para cumplir las solicitudes del cliente será una torre autosoportada.

Por lo tanto la el tipo de torre a instalar en dicho sitio será una torre autosopotada

4.1.4 Descripción del proyecto a realizar

- ✓ Torre Autosoportada

Altura Torre: 120 metros

Acabado: Galvanizado y pintado

- ✓ Escalerillas y cable rack

Estos elementos serán de 300 mm y 500 mm de ancho galvanizados en caliente para el recorrido de los cables, desde el nivel cero hasta una altura de 120m.

- ✓ Losa de Equipos

El equipo PCS, el cual estará apoyado sobre una plancha metálica, dentro de la caseta a instalar.

✓ Obras Preliminares

Estas involucran todo los trabajos previos a la ejecución de las obras civiles requeridos para la correcta ejecución de las mismas tales como: Demoliciones, Trazo y Replanteo, etc.

✓ Obras de Concreto Armado

En esta etapa se ejecutará el vaciado de cimentaciones de todos los elementos sobre los cuales se construirá una torre de autosoportada triangular de 120m de altura.

El concreto a utilizar será de calidad $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

El acero corrugado de construcción a emplearse tendrá un esfuerzo de fluencia de: $F_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$ y el diseño efectuado sigue las pautas del R.N.E.

Los elementos se instalarán sobre cimientos de zapatas aisladas y estas a su vez estarán instaladas bajo pilotes de acero.

4.2 ESPECIFICACIONES

Los materiales utilizados son los siguientes:

- ✓ ASTM A572 Acero estructural de alta resistencia de baja aleación de columbio vanadio.
- ✓ ASTM A36, Acero de los perfiles que conforman la estructura de la torre.
- ✓ ASTM A325, Perno para la conexión de los elementos de la estructura de la torre.
- ✓ ASTM A123, Galvanizado de los elementos de la estructura de la torre.
- ✓ ASTM A153, Galvanizado de los pernos de conexión.
- ✓ SAE1045, Pernos de anclaje, conexión de torre con cimiento.

Propiedades del acero:

- ✓ A572 Gr50, Fluencia del Acero=345Mpa, Fractura del acero=552Mpa, Acero para Montantes
- ✓ A36, Fluencia del Acero=250Mpa, Fractura del acero=408Mpa, Acero para diagonales, horizontales, redundantes y techos
- ✓ ASTM A325, Fluencia del Acero=620Mpa, Fractura del acero=825Mpa, Acero para pernos de Conexión
- ✓ SAE1045, Fluencia del Acero=413Mpa, Fractura del acero=674Mpa, acero para pernos de anclaje
- ✓ $E=205000\text{Mpa}$, Modulo de elasticidad del acero
- ✓ $F'_c=20.6\text{Mpa}$, Resistencia a compresión del concreto

4.3 GEOMETRIA

La torre autoportada es de forma tronco cónico hasta una cierta altura y un tramo recto para la ubicación de las antenas.

Las torres autoportadas son armados o ensamblados por perfiles angulares de acero, conectados mediante empalmes de perfiles angulares, planchas de acero y pernos.

Por la facilidad de conectarse mediante planchas y pernos de acero, los perfiles utilizados para fabricación y montaje de la torre serán; perfiles angulares de acero.

El ancho de la torre o separación de las patas de la misma es 10% de la altura de la torre como mínimo, para poder controlar los desplazamientos y esfuerzos en los elementos.

El ancho en el tramo recto de la torre de la parte superior es un ancho mínimo (1.2m), para que los operarios puedan trasladarse con facilidad.

La torre consta de una estructura regular de 03 lados. Las dimensiones generales de la estructura son las siguientes:

- ✓ Altura total 120.0 m.
- ✓ Ancho de la base 12.0 m.
- ✓ Ancho de la base sección recta 2.2 m.

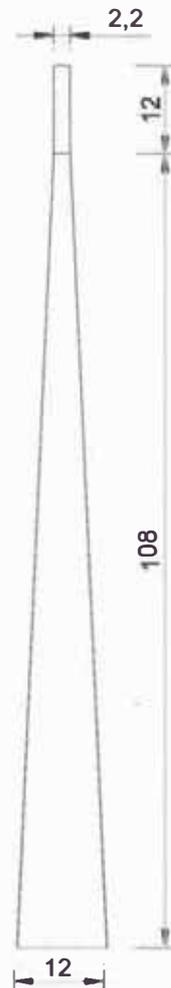


Figura N° 4.3.- vista en elevación de la torre

4.4 NORMAS

La norma utilizada para el cálculo y diseño de la torre es la norma ANSI/TIA 222-G. "Norma estructural para antenas y estructuras que soportan antenas"

Entre otras normas a tomar en cuenta tenemos:

- ✓ Norma Técnica E.090 Estructuras Metálicas
- ✓ Norma Técnica E.030 Sismo
- ✓ Norma Técnica E.020 Cargas

4.5 CARGAS

Las cargas consideradas son:

4.5.1 Carga permanente (D)

Carga debido al peso propio de la estructura (peso de los elementos estructurales y los pernos de conexión)

Accesorios (Peso de antenas, soportes de antenas, plataformas, escaleras, cables, etc.)

Las características de las dimensiones y pesos de las antenas son proporcionados por parte del cliente, en caso contrario con respecto a los pesos de las antenas o accesorios el programa tiene librerías con todas las características de las antenas o accesorios.

Cargas de antenas Microondas:

2 Antenas Microondas de diámetro 3.7m ubicado a 120m
Peso de 1MW + Soporte = 600kg, peso total de 2MW+Soportes =1200kg

2 Antenas Microondas de diámetro 3.7m ubicado a 115m
Peso de 1MW + Soporte = 600kg, peso total de 2MW+Soportes =1200kg

2 Antenas Microondas de diámetro 3.7m ubicado a 110m
Peso de 1MW + Soporte = 600kg, peso total de 2MW+Soportes =1200kg

2 Antenas Microondas de diámetro 3.7m ubicado a 100m
Peso de 1MW + Soporte = 600kg, peso total de 2MW+Soportes =1200kg

Cargas adicionales:

3 Antenas Microondas de diámetro 0.6m ubicado a 80m
Peso de 1MW + Soporte = 70kg, peso total de 3MW+Soportes =210kg

1 Antenas Microondas de diámetro 0.3m ubicado a 80m

Peso de 1MW + Soporte = 40kg, peso total de 1MW+Soportes =40kg

9 Antenas RF de 2.0m ubicado a 75m

Peso de 1RF + Soporte = 70kg, peso total de 9RF+Soportes =630kg

9 Antenas RRU de 0.5m ubicado a 75m

Peso de 1RF + Soporte = 40kg, peso total de 9RF+Soportes =360kg

Cargas consideradas para su debida función de las antenas:

1 Plataforma de descanso a 15m, peso = 280kg

1 Plataforma de descanso a 40m, peso =280kg

1 Plataforma de descanso a 65m, peso =125kg

1 Plataforma de descanso a 90m, peso =125kg

1 Plataforma de trabajo a 120m, peso =325kg

1 Plataforma de trabajo a 75m, peso =550kg

3 Antenas RF que representaran a 3 operarios para el mantenimiento

Peso de 1RF = 80kg, peso total de 9RF+Soportes =240kg

Las plataformas de descanso son consideradas la primera 15 m y las siguientes cada 25 m para que los operarios puedan tener seguridad al momento de subir la torre.

1 Escalera para los operarios, peso =12kg/m

1 Escalera de cables, peso =12kg/m

1 pararrayo + luz de balizaje, peso =25kg

4.5.2 Carga de viento (W)

La velocidad de viento para el diseño de la torre se considera 100km/h para un periodo de retorno de 50 años, velocidad considerada de acuerdo al mapa eólico del Perú para la zona de Yurimaguas, de acuerdo a la norma de cargas, E.020.

Los parámetros de diseño serán determinados de acuerdo a la clasificación de la estructura, categoría de exposición de la estructura y categoría topográfica de la estructura, de acuerdo a la norma ANSI/TIA-222-G.

Clasificación de la estructura, de acuerdo a Tabla 3-1

Debido a la altura y que en caso de falla representa un riesgo considerable en términos de seguridad de las personas y/o daños a la propiedad, la estructura se clasifica en clase II.

Categoría de exposición de la estructura, de acuerdo a 3.2.1.3

La zona donde se ubicara la torre presenta un terreno abierto con obstáculos dispersos de altura generalmente inferior a 9.1m, es decir de campo abierto, por lo tanto la categoría de exposición es C.

Categoría topográfica de la estructura, de acuerdo a 3.2.1.2

Debido a que la torre donde será ubicada no presenta cambios bruscos en la topografía general, es decir es un terreno llano, la categoría topográfica es 1.

Calculo de la Presión dinámica

Se realizara el cálculo de la presión dinámica del viento que se aplicara en toda las estructura de la torre y los accesorios, está definido de acuerdo a 3.2.3.1

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * I * V^2$$

| | | |
|----------|---|---|
| qz | = | Presión dinámica, definido en 3.2.3.1 |
| Kz | = | Coeficiente de presión dinámica, definido en 3.2.3.1 |
| | | $K_{zmin} \leq K_z = 2.01 * (Z/Z_g)^{\frac{2}{\alpha}} \leq 2.01$ |
| α | = | 1 de acuerdo a Tabla 3-4 |
| Zg | = | 274m de acuerdo a Tabla 3-4 |
| Kzmin | = | 0.85 de acuerdo a Tabla 3-4 |
| Z | = | definido en 3.2.3.1 |
| Kzt | = | 1 definido en 3.2.3.1, de acuerdo a la categoría topográfica |
| Kd | = | 0.85 de acuerdo a la Tabla 3-5 |
| I | = | 1 de acuerdo a Tabla 3-2 |
| V | = | 27.78 m/s |

Una vez definido los parámetros o factores, se presenta a continuación una tabla de la presión dinámica desde la altura cero hasta 120m.

Tabla N° 4.1.- Presión de viento vs Altura

| Z (m) | Kz | qz (N/m ²) |
|-------|------|------------------------|
| 0.0 | 0.85 | 341.74 |
| 5.0 | 0.87 | 347.87 |
| 10.0 | 1.00 | 402.52 |
| 15.0 | 1.09 | 438.39 |
| 20.0 | 1.16 | 465.76 |
| 25.0 | 1.21 | 488.16 |
| 30.0 | 1.26 | 507.26 |
| 35.0 | 1.30 | 523.99 |
| 40.0 | 1.34 | 538.93 |
| 45.0 | 1.37 | 552.46 |
| 50.0 | 1.40 | 564.86 |
| 55.0 | 1.43 | 576.30 |
| 60.0 | 1.46 | 586.96 |
| 65.0 | 1.48 | 596.93 |
| 70.0 | 1.51 | 606.32 |
| 75.0 | 1.53 | 615.19 |
| 80.0 | 1.55 | 623.61 |
| 85.0 | 1.57 | 631.62 |
| 90.0 | 1.59 | 639.26 |
| 95.0 | 1.61 | 646.58 |
| 100.0 | 1.63 | 653.60 |
| 105.0 | 1.64 | 660.35 |
| 110.0 | 1.66 | 666.85 |
| 115.0 | 1.67 | 673.12 |
| 120.0 | 1.69 | 679.18 |

Fuente: Elaboración propia

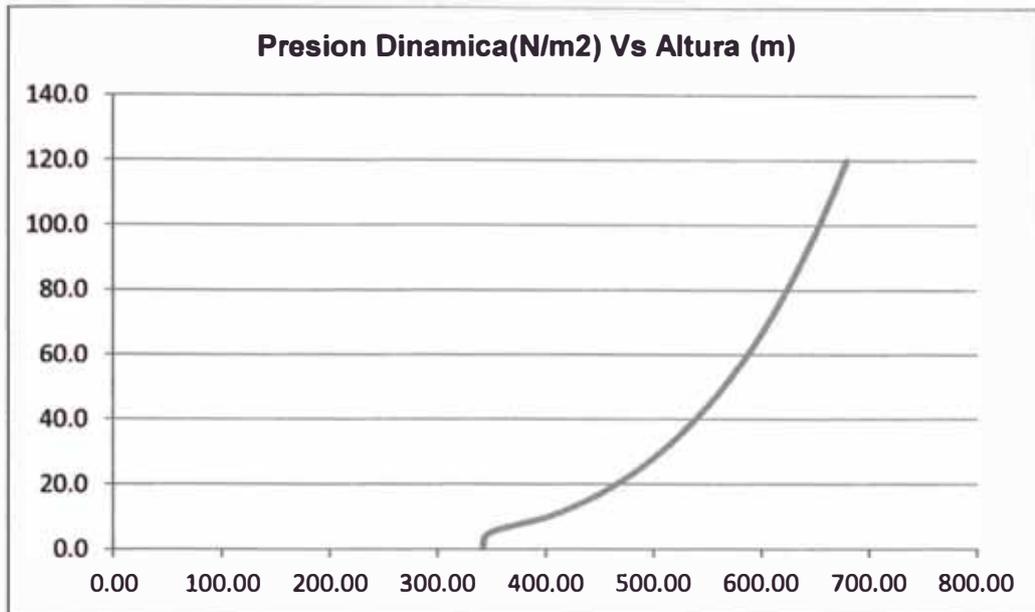


Figura N° 4.4.- Presión dinámica vs altura de torre

4.5.3 Carga de sismo (E)

Fuerza cortante en la base, indicado en el artículo 17.3 de la norma técnica E.030.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P$$

Entre los parámetros de sitio usados y establecidos por las Normas de estructuras E.0.30, tenemos:

- P = peso total de la estructura más todo sus accesorios
- Z = 0.3 (Zona 2 - Yurimaguas - Loreto)
- U = 1.5 (categoría A: Estructura Esencial)
- S = 1.4 (Tp = 0.9 suelo Flexible)
- Rx = 3.0 (De acuerdo a 2.7.8.1 de la Norma ANSI/TIA 222-G)
- Ry = 3.0 (De acuerdo a 2.7.8.1 de la Norma ANSI/TIA 222-G)
- g = 9.81 (aceleración de la gravedad m/s²)
- C = $2.5, \frac{C}{R} \geq 0.125$
- C/R = $0.83 \geq 0.125$

Reemplazando valores tenemos que el coeficiente sísmico para un análisis estático es:

$$V_x = V_y = 0.525 P$$

0.525, coeficiente sísmico que será utilizado en el análisis.

4.6 COMBINACIONES DE CARGA

De acuerdo a 3.2.4 las combinaciones debido a cargas mayoradas en las diferentes direcciones de viento, y en ambas direcciones de sismo son las siguientes:

COMB: 1.2D+1.6W

- 401 COMB: 1.2D+1.6(W A 0°)
- 402 COMB: 1.2D+1.6(W A 45°)
- 403 COMB: 1.2D+1.6(W A 60°)
- 404 COMB: 1.2D+1.6(W A 90°)
- 405 COMB: 1.2D+1.6(W A 120°)
- 406 COMB: 1.2D+1.6(W A 135°)
- 407 COMB: 1.2D+1.6(W A 180°)
- 408 COMB: 1.2D+1.6(W A 225°)
- 409 COMB: 1.2D+1.6(W A 240°)
- 410 COMB: 1.2D+1.6(W A 270°)
- 411 COMB: 1.2D+1.6(W A 300°)
- 412 COMB: 1.2D+1.6(W A 315°)

COMB: 0.9D+1.6W

- 501 COMB: 0.9D+1.6(W A 0°)
- 502 COMB: 0.9D+1.6(W A 45°)
- 503 COMB: 0.9D+1.6(W A 60°)
- 504 COMB: 0.9D+1.6(W A 90°)
- 505 COMB: 0.9D+1.6(W A 120°)
- 506 COMB: 0.9D+1.6(W A 135°)
- 507 COMB: 0.9D+1.6(W A 180°)
- 508 COMB: 0.9D+1.6(W A 225°)
- 509 COMB: 0.9D+1.6(W A 240°)

- 510 COMB: 0.9D+1.6(W A 270°)
- 511 COMB: 0.9D+1.6(W A 300°)
- 512 COMB: 0.9D+1.6(W A 315°)

COMB: 1.2D+1.0E

- 801 COMB: 1.2D+1.0SX
- 802 COMB: 1.2D-1.0SX
- 803 COMB: 1.2D+1.0SY
- 804 COMB: 1.2D-1.0SY

COMB: 0.9D+1.0E

- 805 COMB: 0.9D+1.0SX
- 806 COMB: 0.9D-1.0SX
- 807 COMB: 0.9D+1.0SY
- 808 COMB: 0.9D-1.0SY

De acuerdo a 3.2.5 las combinaciones debido a cargas de servicio son las siguientes:

COMB: 1.0D+1.0W

- 1001 COMB: 1.0D+1.0(W A 0°)
- 1002 COMB: 1.0D+1.0(W A 45°)
- 1003 COMB: 1.0D+1.0(W A 60°)
- 1004 COMB: 1.0D+1.0(W A 90°)
- 1005 COMB: 1.0D+1.0(W A 120°)
- 1006 COMB: 1.0D+1.0(W A 135°)
- 1007 COMB: 1.0D+1.0(W A 180°)
- 1008 COMB: 1.0D+1.0(W A 225°)
- 1009 COMB: 1.0D+1.0(W A 240°)
- 1010 COMB: 1.0D+1.0(W A 270°)
- 1011 COMB: 1.0D+1.0(W A 300°)
- 1012 COMB: 1.0D+1.0(W A 315°)

4.7 CALCULOS PARA EL DISEÑO

Para cálculo de la resistencia de cada elemento, antes se definirá las propiedades geométricas de los perfiles utilizados en la estructura.

4.7.1 Propiedades geométricas de ángulos simples

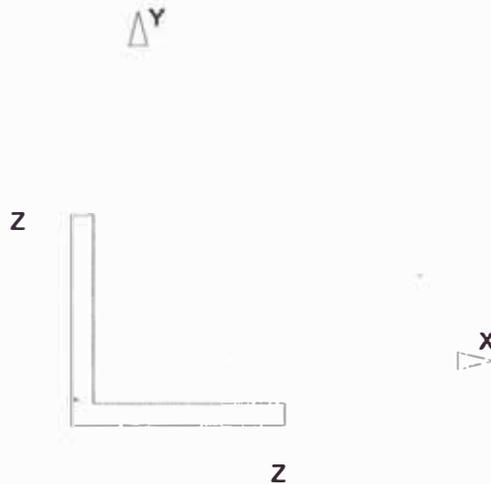


Figura N° 4.5.- Sección transversal de Perfiles angulares a 90°

Tabla N° 4.2.- Propiedades geométricas de perfiles Simples

| Perfil Angular | w(mm) | t (mm) | Ag (cm ²) | r (cm) |
|----------------|--------|--------|-----------------------|--------|
| L4x4x3/8 | 101.60 | 9.53 | 18.45 | 19.79 |
| L4x4x5/16 | 101.60 | 7.94 | 15.48 | 19.84 |
| L4x4x1/4 | 101.60 | 6.35 | 12.45 | 19.89 |
| L3x3x1/4 | 76.20 | 6.35 | 9.29 | 14.86 |
| L2.5x2.5x1/4 | 63.50 | 6.35 | 7.68 | 12.24 |
| L2.5x2.5x3/16 | 63.50 | 4.76 | 5.81 | 12.24 |
| L2x2x1/4 | 50.80 | 6.35 | 6.09 | 9.83 |
| L2x2x3/16 | 50.80 | 4.76 | 4.66 | 9.88 |
| L1.5x1.5x3/16 | 38.10 | 4.76 | 3.40 | 7.44 |

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

w = Lado del perfil angular utilizado en mm

t = Espesor del perfil angular en mm

Ag = Área bruta de la sección transversal en cm²

r = Radio de giro en el eje más débil de la sección en cm

4.7.2 Propiedades geométricas de ángulos armados en cruz

Para los montantes de los últimos paneles se utilizó perfiles armados, a continuación se muestra sus propiedades geométricas de dichos perfiles.

El cálculo del radio se giró se hizo en su eje más débil de la sección armada.

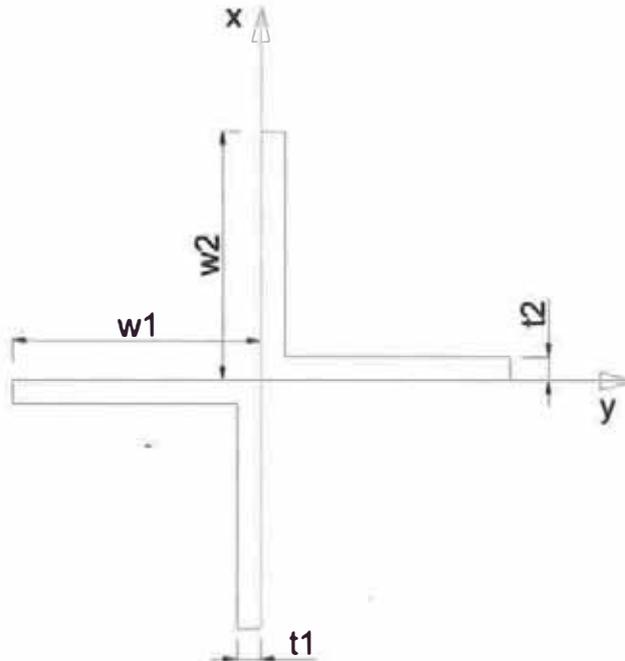


Figura N° 4.6.- Vista de sección transversal de perfiles armados

Tabla N° 4.3.- Propiedades geométricas de perfiles armados

| Perfil Armado | w1(mm) | t1 (mm) | w2(mm) | t2 (mm) | Ag(cm ²) | r (cm) |
|---------------------|--------|---------|--------|---------|----------------------|--------|
| L6x6x5/8+L6x6x5/8 | 152.40 | 15.88 | 152.40 | 15.88 | 91.13 | 5.296 |
| L6x6x5/8+L6x6x1/2 | 152.40 | 15.88 | 152.40 | 12.70 | 82.96 | 5.273 |
| L6x6x1/2+L6x6x1/2 | 152.40 | 12.70 | 152.40 | 12.70 | 74.19 | 5.286 |
| L6x6x1/2+L5x5x1/2 | 152.40 | 12.70 | 127.00 | 12.70 | 67.74 | 4.704 |
| L5x5x1/2+L5x5x1/2 | 127.00 | 12.70 | 127.00 | 12.70 | 61.29 | 4.411 |
| L5x5x1/2+L5x5x3/8 | 127.00 | 12.70 | 127.00 | 9.53 | 53.93 | 4.385 |
| L5x5x3/8+L5x5x3/8 | 127.00 | 9.53 | 127.00 | 9.53 | 46.57 | 4.402 |
| L5x5x3/8+L4x4x3/8 | 127.00 | 9.53 | 101.60 | 9.53 | 41.73 | 3.822 |
| L4x4x3/8+L4x4x3/8 | 101.60 | 9.53 | 101.60 | 9.53 | 36.90 | 3.527 |
| L4x4x3/8+L4x4x5/16 | 101.60 | 9.53 | 101.60 | 7.94 | 33.95 | 3.516 |
| L4x4x5/16+L4x4x5/16 | 101.60 | 7.94 | 101.60 | 7.94 | 31.00 | 3.522 |
| L4x4x5/16+L3x3x5/16 | 101.60 | 7.94 | 76.20 | 7.94 | 26.97 | 2.939 |
| L4x4x5/16+L3x3x1/4 | 101.60 | 7.94 | 76.20 | 6.35 | 24.77 | 2.942 |

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

- w1 = Lado del mayor perfil angular utilizado en mm
t1 = Espesor del mayor perfil angular en mm
w2 = Lado del menor perfil angular utilizado en mm
t2 = Espesor del menor perfil angular en mm
Ag = Área bruta de la sección transversal en cm²
r = Radio de giro en el eje más débil de la sección en cm

4.7.3 Límites de esbeltez de elementos

La relación de esbeltez, kL/r de acuerdo a 3.3.1

- ✓ 150 para los montantes
- ✓ 200 para las diagonales
- ✓ 250 para las horizontales, escuadras y redundantes

4.8 DISEÑO A COMPRESIÓN DEL PERFIL MAS CARGADO

El cálculo de la resistencia a la compresión del perfil angular de L6x6x5/8"+L6x6x5/8", está de acuerdo a 3.4.

En primer lugar es necesario calcular la fluencia efectiva, que está en función de la relación del lado y espesor del ángulo.

$$w/t = 7.6 \leq 0.47 \sqrt{(E/F_y)} = 11.5$$

Por lo tanto de acuerdo a 3.4.1

$$f_y = f_y = 345 \text{ Mpa}$$

Resistencia a compresión, de acuerdo a 3.4.2

$$P_n = A_g F_{cr}$$

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}) F'_y$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F'_y$$

Dónde:

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F'_y}{E}}$$

- L = 1.25m Longitud no arriostrada del elemento
K = 1,
r = 5.296 cm
F_y = 345 Mpa
E = 205000 Mpa
KL/r = 23.6, Esbeltez para perfiles armados de acuerdo a la ecuación 3.14

Por lo tanto reemplazando valores obtenemos

- λ_c = 0.31
F_{cr} = 331.6 Mpa
 ϕ_c = 0.9, definido en 3.4.2
A_g = 91.13 cm²
P_n = 3021.43 KN

Por lo tanto la resistencia a compresión del elemento L6x6x5/8" + L6x6x5/8"
es: $\phi_c P_n = 2719.3$ KN

4.9 DISEÑO A TRACCIÓN DE PERFIL MAS CARGADO

El cálculo de la resistencia a la tracción del perfil angular de L6x6x5/8"+L6x6x5/8", está de acuerdo a 3.4

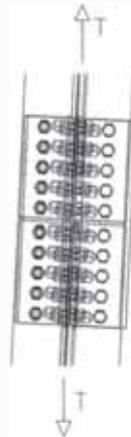


Figura N° 4.7.- Montantes sometidos a tracción

El cálculo de la Resistencia a tracción del elemento está de acuerdo a 3.5

Datos:

| | | | |
|------|---------|-----------------|------------------------------|
| wm1= | 152.40 | mm | Lado de montante 1 |
| wm2= | 152.40 | mm | Lado de montante 2 |
| em1= | 15.88 | mm | Espesor de montante 1 |
| em2= | 15.88 | mm | Espesor de montante 2 |
| dp= | 19.05 | mm | Diámetro del perno |
| da= | 20.64 | mm | Diámetro del Agujero |
| n= | 20.00 | | Cantidad de Pernos |
| Ag= | 9173.37 | mm ² | Área Bruta |
| Ane= | 8366.92 | mm ² | Área neta efectiva |
| Agv= | 8165.31 | mm ² | Área Bruta sujeta a corte |
| Agt= | 7258.05 | mm ² | Área Bruta sujeta a tracción |
| Anv= | 5216.72 | mm ² | Área neta sujeta a corte |
| Ant= | 6275.19 | mm ² | Área neta sujeta a tracción |

Para la fluencia por tracción en la sección bruta, de acuerdo a 3.5.1

$$\phi_t P_n = 2830.0 \text{ KN}$$

Para rotura por tracción en la sección neta efectiva, de acuerdo a 3.5.2

$$\phi_t P_n = 2664.0 \text{ KN}$$

Para rotura en bloque por corte, de acuerdo a 3.5.3

$$\phi_t P_n = 3865.6 \text{ KN}$$

La resistencia mínima a tracción del perfil armado L6X6X5/8"+ L6X6X5/8"

es: $\phi_t P_n = 2830.0\text{KN}$

4.10 MÁXIMAS REACCIONES EN LA BASE DE LA TORRE

REACCIONES - CARGAS MAYORADAS (KN)

Reacción máxima a compresión

| CASO | NUDO | FX | FY | FZ |
|------|------|----------|----------|-----------|
| 409 | 2705 | 28.223 | -89.735 | -1039.585 |
| | 2715 | -104.826 | -180.319 | 2341.348 |
| | 2735 | -73.216 | -22.466 | -735.677 |

Reacción máxima a tracción

| CASO | NUDO | FX | FY | FZ |
|------|------|---------|---------|-----------|
| 503 | 2705 | -38.209 | 101.938 | 1293.695 |
| | 2715 | 81.967 | 142.302 | -1871.611 |
| | 2735 | 89.477 | 18.364 | 1002.480 |

REACCIONES - CARGAS DE SERVICIO (KN)

Reacción máxima a compresión

| CASO | NUDO | FX | FY | FZ |
|------|------|---------|----------|----------|
| 1009 | 2705 | 14.920 | -51.373 | -579.045 |
| | 2715 | -68.238 | -117.412 | 1534.208 |
| | 2735 | -40.319 | -14.040 | -389.077 |

Reacción máxima a tracción

| CASO | NUDO | FX | FY | FZ |
|------|------|---------|--------|-----------|
| 1003 | 2705 | -27.733 | 70.386 | 908.711 |
| | 2715 | 47.373 | 82.262 | -1069.364 |
| | 2735 | 63.631 | 11.480 | 726.739 |

4.11 MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS EN LA TORRE

Desplazamiento máximo permitido de acuerdo a la carga de antena = 0.75°

Rotación máxima permitido de acuerdo a la carga de antena = 0.75°

Los desplazamientos en metros y rotaciones en radianes máximas obtenidas en la parte superior de la torre son:

| Case | trans-x | trans-y | trans-z | rot-x | rot-y | rot-z |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 801 | -0.8723 | 0.0002 | 0.0013 | 0.0000 | -0.0157 | -0.0000 |
| 802 | 0.8760 | 0.0002 | -0.0187 | 0.0000 | 0.0160 | 0.0000 |
| 803 | 0.0012 | -0.8743 | -0.0260 | 0.0158 | 0.0001 | -0.0006 |
| 804 | 0.0025 | 0.8747 | 0.0087 | -0.0158 | 0.0002 | 0.0006 |
| 805 | -0.8728 | 0.0001 | 0.0035 | 0.0000 | -0.0157 | -0.0000 |
| 806 | 0.8755 | 0.0002 | -0.0165 | 0.0000 | 0.0159 | 0.0000 |
| 807 | 0.0007 | -0.8743 | -0.0238 | 0.0158 | 0.0001 | -0.0006 |
| 808 | 0.0020 | 0.8746 | 0.0108 | -0.0158 | 0.0001 | 0.0006 |
| 1001 | -1.1648 | -0.0237 | 0.0047 | 0.0013 | -0.0231 | -0.0004 |
| 1002 | -0.7107 | -0.9651 | -0.0215 | 0.0201 | -0.0143 | 0.0001 |
| 1003 | -0.5086 | -1.1358 | -0.0276 | 0.0234 | -0.0104 | 0.0003 |
| 1004 | -0.0317 | -1.2835 | -0.0364 | 0.0261 | -0.0012 | 0.0024 |
| 1005 | 0.4984 | -1.1576 | -0.0399 | 0.0233 | 0.0092 | 0.0024 |
| 1006 | 0.7556 | -0.9216 | -0.0382 | 0.0185 | 0.0147 | 0.0021 |
| 1007 | 1.0184 | 0.0186 | -0.0205 | -0.0010 | 0.0205 | -0.0000 |
| 1008 | 0.7634 | 0.9400 | 0.0030 | -0.0194 | 0.0154 | -0.0024 |
| 1009 | 0.5201 | 1.1676 | 0.0108 | -0.0237 | 0.0106 | -0.0024 |
| 1010 | -0.0019 | 1.2874 | 0.0198 | -0.0262 | 0.0007 | -0.0021 |
| 1011 | -0.4809 | 1.1355 | 0.0226 | -0.0233 | -0.0088 | -0.0000 |
| 1012 | -0.6880 | 0.9596 | 0.0213 | -0.0197 | -0.0130 | 0.0001 |



Figura N° 4.8.- Desplazamientos (m) y Rotaciones (rad) en la torre

$$\text{Desplazamiento}(\text{°}) = \text{atan}\left(\frac{\text{Desplazamiento Máximo en la torre en metros}}{\text{Altura total de la torre en metros}}\right) * \frac{180\text{°}}{\pi}$$

$$\text{Rotación}(\text{°}) = (\text{Rotacion de la torre en radianes}) * \frac{180\text{°}}{\pi}$$

Desplazamiento máximo obtenido = 0.56°

Rotación máxima obtenido = 0.14°

Los desplazamientos y rotaciones obtenidos son menores que lo permitido de acuerdo a la carga considerada, por lo tanto la estructura es adecuada para las cargas impuestas.

4.12 DISEÑO DE CONEXIÓN MONTANTE CON MONTANTE

Calculo de La resistencia de la conexión, para conectar montantes de doble ángulo L6x6x5/8"+ L6x6x5/8" de acuerdo a 3.6.3

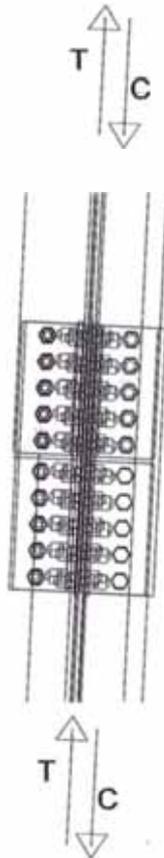


Figura N° 4.9.- Conexión de Montante con Montante de perfiles armados

Datos del perno de conexión

| | | | |
|------------------|-------|-----|------------------------|
| Acero Utilizado= | A325 | | |
| Fy= | 620.0 | Mpa | Esfuerzo a la Fluencia |
| Fu= | 825.0 | Mpa | Esfuerzo a la rotura |
| dp= | 19.1 | mm | Diámetro |

Estado limite 1: Resistencia al corte del perno

| | | | |
|-------|-------|-----------------|--|
| dp= | 19.1 | mm | |
| Ap= | 285.0 | mm ² | Área bruta de la sección del perno |
| Fy= | 620.0 | Mpa | Resistencia nominal al corte del perno |
| φ= | 0.75 | | Factor de resistencia |
| φRn1= | 72.9 | KN | Resistencia por perno |

Estado limite 2: Resistencia al aplastamiento

| | | | |
|-------|-------|-----|---|
| em1= | 15.9 | mm | Espesor de la placa 1 |
| em2= | 15.9 | mm | Espesor de la placa 2 |
| Lc= | 28.6 | mm | Distancia libre entre el perno y el borde libre |
| Fu= | 552.0 | Mpa | |
| φRn2= | 560.9 | KN | Resistencia por perno |

Resistencia de la Montante

$$\Phi R_{ni} = \boxed{72.9} \text{ KN} \quad \text{Resistencia de un solo perno}$$

Por lo tanto para conectar montante con montante se utilizaran 20 pernos de 3/4" de diámetro, cuya resistencia mínima de la conexión L6X6X5/8"+ L6X6X5/8" es: $\Phi R_n = 2915.8 \text{ KN}$

4.13 DISEÑO DE CONEXIÓN DIAGONAL CON MONTANTE

Calculo de La resistencia de la conexión, para conectar montantes con diagonal o diagonal con diagonal, de acuerdo a 3.6.3

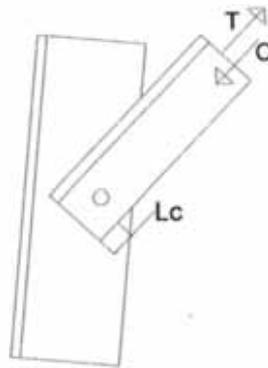


Figura N° 4.10.- Conexión de Diagonal con Montante

Datos del perno de conexión

| | | | |
|------------------|-------|-----|------------------------|
| Acero Utilizado= | A325 | | |
| Fy= | 620.0 | Mpa | Esfuerzo a la Fluencia |
| Fu= | 825.0 | Mpa | Esfuerzo a la rotura |
| dp= | 15.9 | mm | Diámetro |

Estado limite 1: Resistencia al corte del perno

| | | | |
|-------|-------|-----------------|--|
| dp= | 15.9 | mm | |
| Ap= | 197.9 | mm ² | Área bruta de la sección del perno |
| Fy= | 620.0 | Mpa | Resistencia nominal al corte del perno |
| f= | 0.75 | | Factor de resistencia |
| fRn1= | 50.6 | KN | Resistencia por perno |

Estado limite 2: Resistencia al aplastamiento

| | | | |
|-------|-------|-----|---|
| t= | 6.4 | mm | Espesor de la placa |
| Lc= | 23.8 | mm | Distancia libre entre el perno y el borde libre |
| Fu= | 400.0 | Mpa | |
| fRn2= | 67.7 | KN | Resistencia por perno |

Resistencia de la Diagonal

$$\Phi R_{ni} = \boxed{50.6} \text{ KN} \quad \text{Resistencia de un solo perno}$$

Por lo tanto para conectar diagonal con montante o diagonal con diagonal se utilizaran 2 pernos de 5/8" de diámetro, cuya resistencia mínima de la conexión del perfil L4x4x1/4" es: $\Phi R_n = 101.2 \text{ KN}$

4.14 DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

Los pernos de anclaje de las torres serán verificados debido a las reacciones a tracción y corte que se producen en la base de la torre, la verificación se hará de acuerdo a 3.7.

Para el cálculo de los pernos se utilizaran 8 pernos de 1.5" de diámetro.

$$\left(\frac{T_{ub} + \frac{V_{ub}}{\eta}}{\Phi R_{nt}} \right) \leq 1$$

$$R_{nt} = F_{ub} \cdot (0.75 \cdot A_b)$$

$T_{ub} = 234 \text{ KN}$, Resistencia a tracción actuante para un perno

$V_{ub} = 22.5 \text{ KN}$, Resistencia al corte actuante para un perno

$\Phi = 0.80$

$\eta = 0.50$

$A_b = 1122.2 \text{ mm}^2$, Área de la sección transversal de un perno

$F_{ub} = 674 \text{ Mpa}$, mínima resistencia a la tracción

$R_{nt} = 425.5 \text{ KN}$

Reemplazando los valores obtenemos que:

$$\left(\frac{P_u + \frac{V_u}{\eta}}{\Phi R_{nt}} \right) = 0.72 \leq 1$$

Por lo tanto la verificación de los pernos de anclaje cumple con los requisitos propuesto por la norma ANSI/TIA-222-G

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ La estructura con la geometría planteada y con los perfiles angulares considerados cumple con las condiciones de resistencia evaluados a velocidad de viento de 100km/h.
- ✓ El diseño de los elementos de la estructura es netamente a fuerzas axiales, se realizó una verificación de la esbeltez, los desplazamientos, las rotaciones, y la capacidad de los elementos, los cuales tienen un comportamiento adecuado frente a las cargas impuestas sobre la estructura
- ✓ El uso de programas de diseño como: Ms Tower, Risa Tower, SAP 2000, facilitan enormemente el diseño, ahorrando tiempo en los cálculos tediosos y repetitivos, de esta manera se acelera un prediseño.
- ✓ Debido a su altura el diseño de torres está determinado por las cargas de viento, sin embargo se consideró las cargas de sismo lo cual fue insignificante.
- ✓ La apertura de las patas de la torre es un factor determinante para controlar los desplazamientos en la parte superior de la torre.
- ✓ La estructura presenta un desplazamiento de 0.61° en la parte más alta de la torre, la cual es menor al desplazamiento permitido que es 0.75° . Por otra parte presenta una rotación de 0.14° , la cual es menor a la rotación permitida que es de 0.75° , estas deformaciones son mínimas y no comprometen a la estructura.
- ✓ La relación de fuerzas actuantes con respecto a la capacidad del montante más esforzado es de 0.947, lo cual es satisfactorio.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe tener mucho cuidado en la elaboración de los modelos en el programa ms Tower, así como en la interpretación de los resultados que arroja el programa para detectar posibles errores que se puedan generar debido a un mal ingreso de datos o una mala selección en el código a utilizar para el diseño o incluso por interpretaciones erróneas del programa en su modo predeterminado.
- ✓ El diseño de las conexiones se debe realizar con mucho cuidado y siempre basado en las normas aplicables como la Norma para garantizar la seguridad de la estructura.
- ✓ Concebir la distribución y configuración de los elementos de la estructura de manera sencilla para facilitar la producción y sobre todo el montaje de la obra.
- ✓ Se debe proteger a todas los elementos o piezas metálicas de la corrosión mediante galvanizado por inmersión en caliente para bajar los costos de mantenimiento de las torres.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ AISC, "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Buildings, AISCLRFD-99, 3º ed., American Institute of Steel Construction, 2001.

- ✓ ANSI/TIA-222-G,"Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures", 2006.

- ✓ ASCE, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", SEI/ASCE 7-02, American Society of Civil Engineers, New York, NY, 2003.

- ✓ Cudós V. y Quintero F. "Estructuras Metálicas. Uniones. U.D.2 (I)". Fundación de la escuela de la edificación. Madrid, 1988.

- ✓ Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2009.