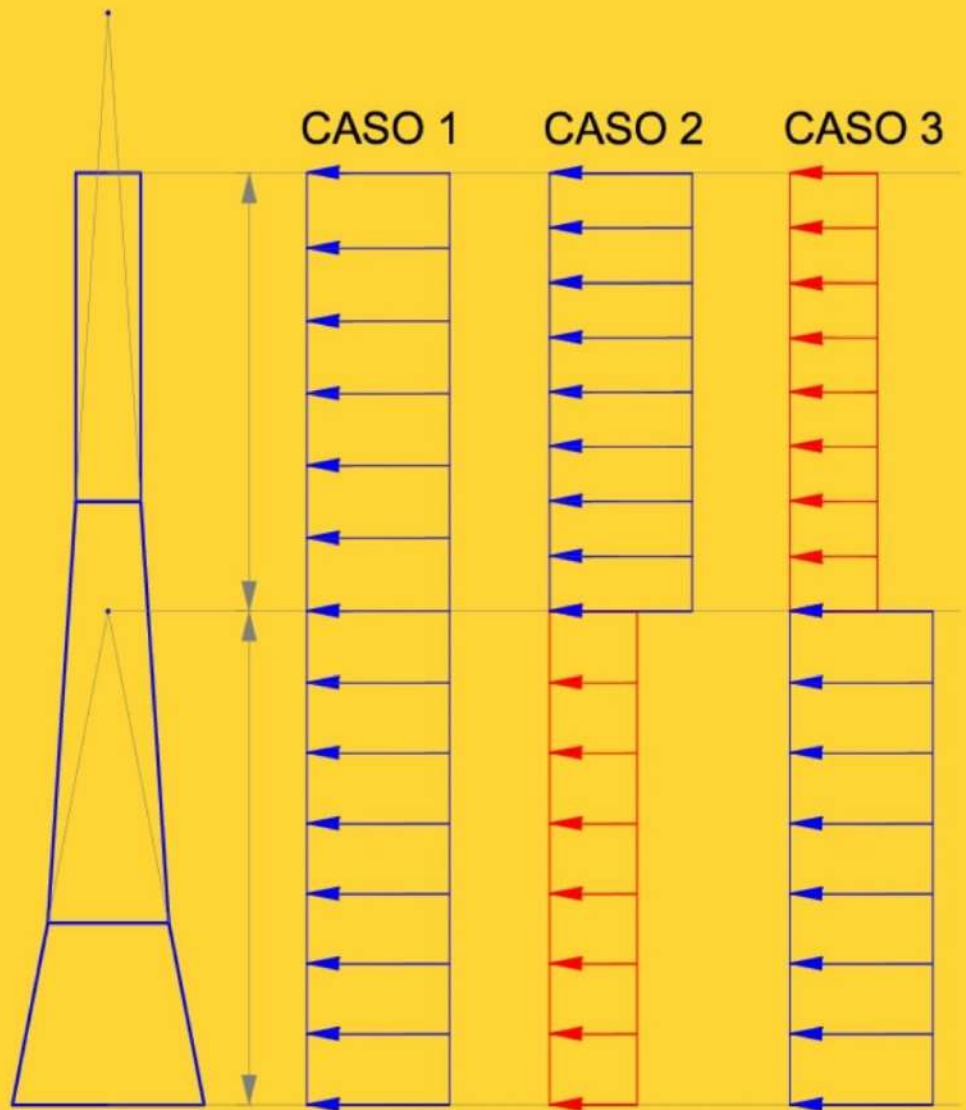


# FUERZA DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE SOPORTE RETICULADAS DE ANTENAS

## TIA 222H

ENERO, 2023



### ANSI-TIA-222-H

Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas and Small Wind Turbine Support Structures

### ANGEL MANRIQUE

Ingeniero Civil Especialista en Estructuras

**INDICE**

**03**

**INTRODUCCIÓN**

**03**

**OBJETIVO**

**03**

**BASES PARA EL DISEÑO**

**04**

**CALIDAD DE LOS MATERIALES**

**04**

**GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA Y LA ANTENA**

**06**

**FUERZA DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURA Y ANTENAS**

**16**

**CARGAS GRAVITACIONALES**

**16**

**LIMITACIÓN DE DEFORMACIONES**

## 01 INTRODUCCIÓN

Un factor importante al momento de realizar la instalación de equipos de comunicaciones tales como antenas y sus estructuras de soporte como mástiles, estructuras atirantadas y estructuras autosoportantes es la fuerza de viento que actúa directamente sobre estas.

La fuerza de viento es directamente proporcional a la velocidad de las corrientes eólicas que afectan a las estructuras de soportes y a las antenas. Por lo que el American National Standards Institute (ANSI) ha desarrollado el documento (TIA 222-H-2018) para controlar el diseño de estructuras de elevación de equipos de telecomunicaciones y así determinar posibles fallas debido a las fuerzas generadas por altas corrientes de aire.

En este documento se establece el cálculo de la fuerza de viento total actuante sobre la estructura. En sistemas reticulados esta se distribuye en la altura del soporte según su geometría y número de nodos. Es decir, aunque el viento afecte efectivamente el área de los elementos de la estructura todas las fuerzas en sistemas reticulados se aplican directamente sobre los nodos.

La fuerza del viento se incrementa a medida que aumenta la altura de la torre o mástil. Por lo que a mayor altura las dimensiones de la estructura de soporte tiende a ser más robusto, más ancha, con componentes estructurales de dimensiones considerables, y por ende una estructura más pesada. En lo que respecta a la antena o equipo de telecomunicación, cuanto mayor es su superficie útil mayor es la resistencia que presenta al viento, este factor entonces limita de manera significativa tamaño de la antena y, por lo tanto, la capacidad de transmisión de la misma.

## 02 OBJETIVO

El presente documento está referido al cálculo de la fuerza de viento sobre estructuras reticuladas de sección transversal cuadrada para soporte de antenas de telecomunicaciones.

## 03 BASES PARA EL DISEÑO

### Normas Nacionales

1. NCh 432.Of2010 Diseño Estructural - Cargas de viento.

### Normas Internacionales

1. ANSI/TIA-222-H-2018. Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas and Small Wind Turbine Support Structures.

### Documentos Técnicos

1. ERI-Breakfast\_2018-NAB\_222-H-Impact\_Ruedlinger.
2. ANSI/TIA-222-G Explained

## 04 CALIDAD DE LOS MATERIALES

### 4.1 ACERO ESTRUCTURAL

Esfuerzo de fluencia del acero  $f_{ys} := 250 \text{ MPa}$

Peso unitario  $\gamma_a := 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

Modulo de elasticidad del acero  $E_s := 200000 \text{ MPa}$

## 05 GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA Y LA ANTENA

### 5.1 ESTRUCTURA

Peso total de la estructura  $P_{ST} := 3105 \text{ kgf}$

Sección transversal  $ST := \text{Cuadrada}$

Ancho de base  $b_1 := 4480 \text{ mm}$

Ancho de base  $b_2 := 2800 \text{ mm}$

Ancho de base  $b_3 := 1520 \text{ mm}$

Altura  $h_1 := 4250 \text{ mm}$

Altura  $h_2 := 9820 \text{ mm}$

Altura  $h_3 := 7685 \text{ mm}$

Altura Total  $h_T := h_1 + h_2 + h_3 = 21755 \text{ mm}$

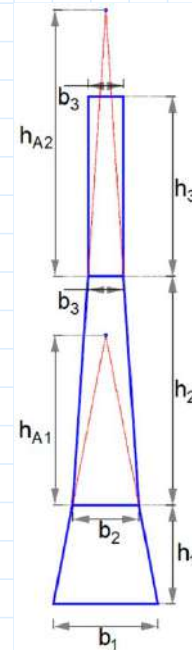


Figura 1. Imagen referencial de la estructura

Altura  $h_{A1} := 7083.33 \text{ mm}$

Altura  $h_{A3} := 11661.25 \text{ mm}$

### 5.2 ANTENA A1

Peso de la antena  $P_{SA} := 32 \text{ kgf}$

Diámetro de la antena  $\phi_A := 1200 \text{ mm}$

Ancho de la antena  $E_A := 748 \text{ mm}$

Altura desde la base de la torre  $H_A := h_T = 21755 \text{ mm}$

Espesor del tambor  $e_A := 4 \text{ mm}$

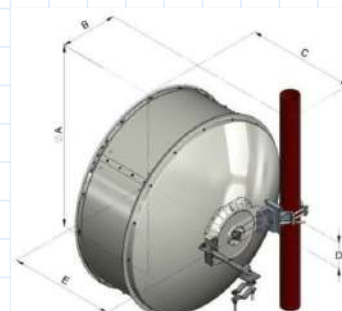


Figura 2. Imagen referencial de la antena

### 5.3 ANTENA A2

Peso de la antena	$P_{SAE1} := 32 \text{ kgf}$
Diámetro de la antena	$\phi_{AE1} := 750 \text{ mm}$
Ancho de la antena	$E_{AE1} := 150 \text{ mm}$
Altura desde la base de la torre	$H_A = 21755 \text{ mm}$
Espesor del tambor	$e_A := 4 \text{ mm}$

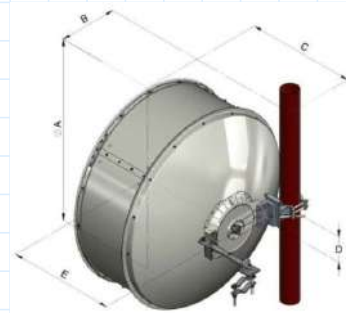


Figura 3. Imagen referencial de la antena

### 5.4 ANTENA A3

Peso de la antena	$P_{SAE2} := 64 \text{ kgf}$
Diámetro de la antena	$\phi_{AE2} := 2000 \text{ mm}$
Ancho de la antena	$E_{AE2} := 600 \text{ mm}$
Altura desde la base de la torre	$H_A = 21755 \text{ mm}$
Espesor del tambor	$e_A := 4 \text{ mm}$

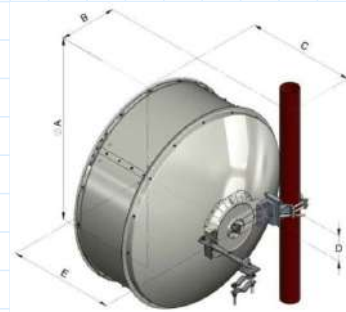


Figura 4. Imagen referencial de la antena

### 5.5 ANTENA A4

Peso de la antena	$P_{SAE3} := 32 \text{ kgf}$
Diámetro de la antena	$\phi_{AE3} := 1300 \text{ mm}$
Ancho de la antena	$E_{AE3} := 300 \text{ mm}$
Altura desde la base de la torre	$H_A = 21755 \text{ mm}$
Espesor del tambor	$e_A := 4 \text{ mm}$

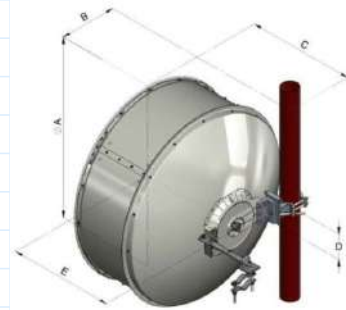


Figura 5. Imagen referencial de la antena

### 5.6 ANTENA A5

Peso de la antena	$P_{SAE4} := 32 \text{ kgf}$
Diámetro de la antena	$\phi_{AE4} := 1300 \text{ mm}$
Ancho de la antena	$E_{AE4} := 600 \text{ mm}$
Altura desde la base de la torre	$H_A = 21755 \text{ mm}$
Espesor del tambor	$e_A := 4 \text{ mm}$

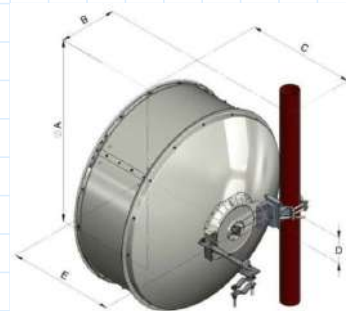


Figura 6. Imagen referencial de la antena

# 06 FUERZA DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURA Y ANTENAS

## 6.1 FUERZA DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA

*Presión de velocidad  $q_z$*

*Velocidad básica de viento  $V$*

Velocidad básica del viento para la condición de carga (m/s)  
Tabla 6 NCh 432-2010

$V := 35$  v

*Coefficiente de presión de velocidad  $K_z$*

- **Site Exposure Category** ~ based upon local surrounding ground surface roughness from natural topography, vegetation and constructed facilities.

- Three Categories:

- 1) Exposure B ~ atmospheric boundary layer above 1200 ft
- 2) Exposure C ~ atmospheric boundary layer above 900 ft
- 3) Exposure D ~ atmospheric boundary layer above 700 ft

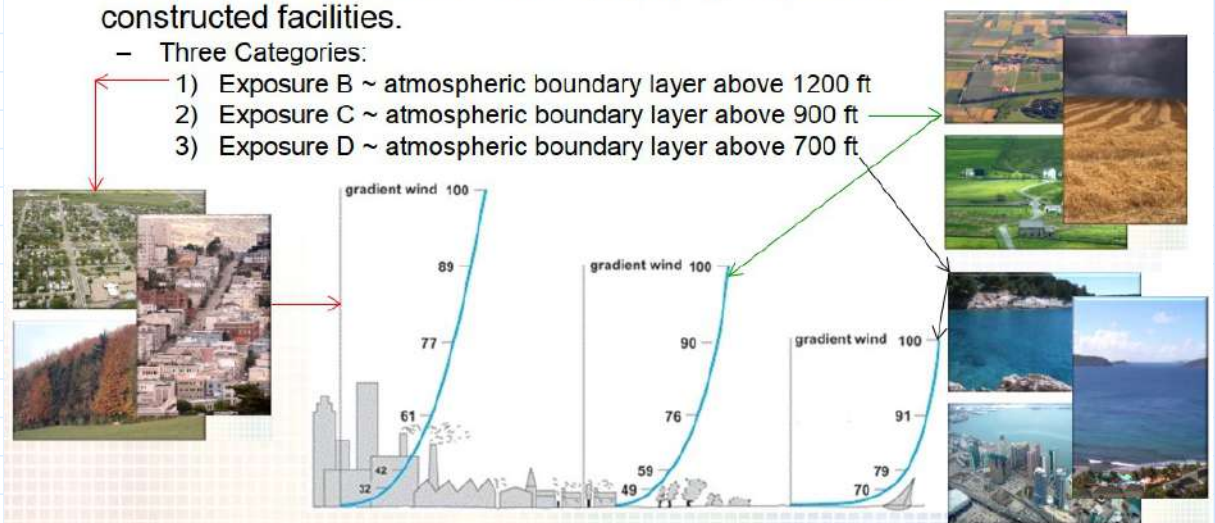


Figura 7. Art. 2.6.5.1 ANSI/TIA-222-H. ERI-Breakfast\_2018-NAB\_222-H-Impact\_Ruedlinger

Categoría de Exposición  
Art. 2.6.5.1.2 ANSI/TIA-222-H

$CE := C$  v

Altura sobre el nivel del suelo en la base de la estructura

$z := 200$  mm

Coefficiente de presión de velocidad mínimo  
Tabla 2-4 ANSI/TIA-222-H

$K_{zmin} = 0.85$

Altura nominal de la capa límite atmosférica  
Tabla 2-4 ANSI/TIA-222-H

$z_g = 274$  m

Exponente de la ley de potencia de la velocidad del viento en ráfagas de 3 segundos. Tabla 2-4 ANSI/TIA-222-H

$\alpha = 9.5$

Coefficiente de presión de velocidad  
Art. 2.6.5.2 ANSI/TIA-222-H

$$K_z := \min \left( \max \left( 2.01 \cdot \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}, K_{zmin} \right), 2.01 \right) = 0.85$$

Factor topográfico  $K_{zt}$

Procedimiento de factor topográfico simplificado (Method1)

**Site Topographic Category** ~ based on wind speed-up effects at isolated hills, ridges and escarpments constituting abrupt changes in the general topography

- Method 1 Categories:
  - 1) Category 1 – No abrupt changes
  - 2) Category 2 – Escarpments
  - 3) Category 3 - Hills
  - 4) Category 4 – Ridges
- Method 2 – Site-Specific
- Method 3 – Site-Specific

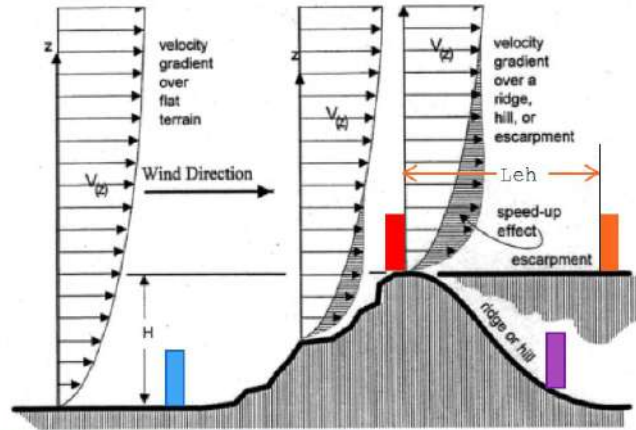


Figura 8. Art. 2.6.6.2.1 ANSI/TIA-222-H. ERI-Breakfast\_2018-NAB\_222-H-Impact\_Ruedlinger

Categoría topográfica  
Art. 2.6.6.2.1 ANSI/TIA-222-H

$CT := 3$

Altura de la cresta sobre el terreno circundante

$H := 400 \text{ m}$

Ubicación de la estructura desde la cima o escarpe

$L_{eh} := \text{N/A}$

Constante de terreno  
Tabla 2-4 ANSI/TIA-222-H

$K_c = 1$

Constante topográfica  
Tabla 2-5 ANSI/TIA-222-H

$K_t = 0.53$

Factor de atenuación de altura  
Tabla 2-5 ANSI/TIA-222-H

$f = 2$

Factor de reducción de altura

$$K_h := e^{\frac{f \cdot z}{H}} = 1$$

Factor topográfico  
Art. 2.6.6.2.1 ANSI/TIA-222-H

$$K_{zt} := \left( 1 + \frac{K_c \cdot K_t}{K_h} \right)^2 = 2.34$$

Factor de aceleración del viento en azotea  $K_s$

¿La estructura se apoya sobre una techumbre?

$A.Techo := \text{No}$

Altura sobre el nivel del techo en la base de la estructura

$z_r := 200 \text{ mm}$

Altura de antepecho (Parapet Height)  
Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H

$h_{pt} := 1500 \text{ mm}$

Distancia horizontal desde la cara de barlovento hasta el centro de la estructura. *Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

$$X_b := 5000 \text{ mm}$$

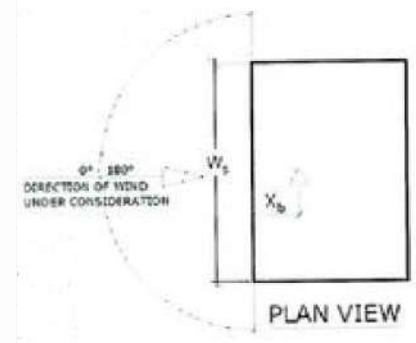
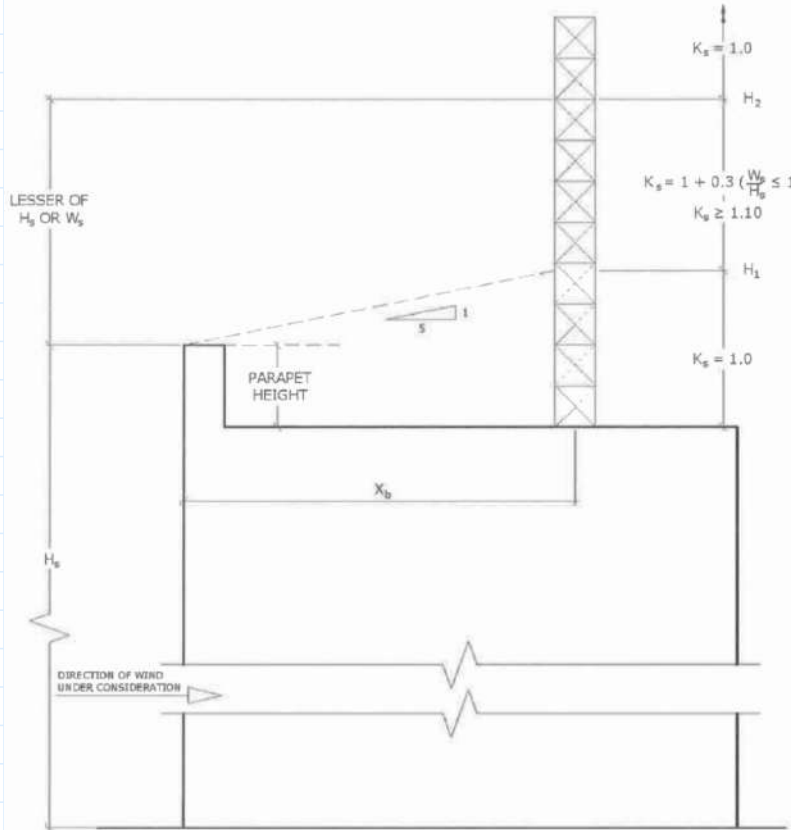


Figura 9. *Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

Altura de la cara a barlovento del edificio  $H_s := 60 \text{ m}$   
*Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

Ancho de la cara a barlovento del edificio  $W_s := 10 \text{ m}$   
*Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

Zona de ráfaga 1  $H_1 := h_{pt} + \frac{X_b}{5} = 2500 \text{ mm}$   
*Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

Zona de ráfaga 2  $H_2 := h_{pt} + \min(H_s, W_s) = 11500 \text{ mm}$   
*Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H*

Factor de aceleración de cálculo  $K_{scal} := \min\left(1 + 0.3 \cdot \max\left(\frac{W_s}{H_s}, 1\right), 1.1\right) = 1.1$

Factor de aceleración del viento en azotea  $K_s = 1$

*Factor de elevación del suelo  $K_e$*

Elevación media de la base de la estructura sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)  $z_s := 685$

Factor de elevación del suelo  $K_e := e^{-0.000119 \cdot z_s} = 0.92$   
*Art. 2.6.11.6 ANSI/TIA-222-H*



*Factor de probabilidad de la dirección del viento  $K_d$*

Sección transversal de la estructura

$ST = \text{“Cuadrada”}$

Factor de probabilidad de la dirección del viento  
*Tabla 2-2 ANSI/TIA-222-H*

$K_d = 0.85$

Presión de Velocidad  $q_z := 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_s \cdot K_e \cdot K_d \cdot V^2 \cdot \frac{N}{m^2} = 1169.81 \frac{N}{m^2}$

$$q_z = 119.29 \frac{kgf}{m^2}$$

Factor de efecto de ráfaga  $G_h$

Altura total de la estructura

$H_{TE} = 21.96 \text{ m}$

Factor de efecto de ráfaga  
*Art. 2.6.9.1 ANSI/TIA-222-H*

$$G_h := \max \left( \min \left( 0.85 + 0.15 \cdot \left( \frac{H_{TE}}{47.5 \text{ m}} - 3 \right), 1 \right), 0.85 \right) = 0.85$$

Área efectiva proyectada de la estructura  $EPA_s$

Dirección del viento

$WD := \text{Normal} \downarrow$

Área proyectada de componentes estructurales planos en una cara de la sección

$A_f = 8.17 \text{ m}^2$

Área proyectada de componentes estructurales redondos en una cara de la sección incluyendo el área proyectada de hielo

$A_r := 0 \text{ m}^2$

Área bruta de una cara de la sección como si la cara fuera sólida

$A_g = 48.36 \text{ m}^2$

Relación de solidez

$$\varepsilon := \frac{A_f + A_r}{A_g} = 0.17$$

Área proyectada efectiva de componentes estructurales planos según ángulo de la dirección del viento

$A_{fe} = 8.17 \text{ m}^2$

Área proyectada efectiva de componentes estructurales redondos según ángulo de la dirección del viento

$A_{re} = 0 \text{ m}^2$

Coficiente de fuerza de la estructura

$C_f = 3.12$

Factor de dirección del viento para componentes estructurales planos  
*Tabla 2-7 ANSI/TIA-222-H*

$D_f = 1$

Factor de dirección del viento para componentes estructurales planos  
*Tabla 2-7 ANSI/TIA-222-H*

$D_r = 1$

*Factor de reducción para elementos redondos  $R_r$*

Factor topográfico	$K_{zt} = 2.34$
Coefficiente de presión de velocidad	$K_z = 0.85$
Factor de elevación del suelo	$K_{zt} = 2.34$
Diámetro exterior promedio de los perfiles redondos	$D_{ep} := 0 \text{ m}$
Coefficiente de velocidad para elementos redondos, tubulares y poligonales. Art. 2.6.11.1.1 ANSI/TIA-222-H	$C := \sqrt[2]{K_z \cdot K_{zt} \cdot K_e} \cdot V \cdot \frac{D_{ep}}{m} = 0$
Factor de reducción promedio para elementos redondos Art. 2.6.11.1.1 ANSI/TIA-222-H	$R_r = 0.57$

Área efectiva proyectada de la estructura  $EPA_s := C_f \cdot (D_f \cdot A_{fe} + D_r \cdot (A_{re} \cdot R_r)) = 25.46 \text{ m}^2$

Fuerza de viento sobre la estructura Art. 2.6.11.1 ANSI/TIA-222-H

$$F_{ST} := q_z \cdot G_h \cdot EPA_s$$

$$F_{ST} = 2581.29 \text{ kgf}$$

6.2 DISTRIBUCION DE LA FUERZA DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA

Patrones de carga de viento (Art. 3.6 ANSI/TIA-222-H)

**Caso 1 (C1):** Presión a toda velocidad sobre toda la altura de la estructura.

**Caso 2 (C2):** Presión de velocidad máxima por encima del punto de vértice y presión de velocidad media por debajo del punto de vértice.

**Caso 3 (C3):** Presión de velocidad máxima por debajo del punto de vértice y presión de velocidad media por encima del punto de vértice.

Factor de conversión de viento medio  $m_f = 0.6$   
 Tabla 3-1 ANSI/TIA-222-H

Presión de viento de diseño  $f_{WT} := \frac{F_{ST}}{h_T} = 118.65 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Presión de velocidad media Art. 3.7.1 ANSI/TIA-222-H

Zona 1 bajo el punto de vértice

Zona 2 sobre el punto de vértice

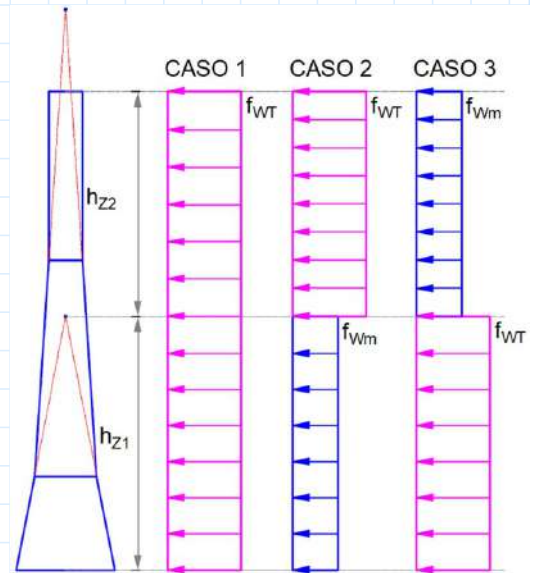


Figura 10. Fuerza de viento en la estructura

$$f_{Wm} := \frac{m_f \cdot F_{ST}}{h_T} = 71.19 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$h_{Z1} = 11.33 \text{ m}$$

$$h_{Z2} = 10.42 \text{ m}$$

Aplicación de fuerzas de viento al modelo estructural

Números de nodos de la estructura en la altura  $h_{Z1}$   $N_{Z1} := 36$

Números de nodos de la estructura en la altura  $h_{Z2}$   $N_{Z2} := 32$

*Caso 1 (C1)*

Fuerza en cada nodo para el Caso C1, Zona 1 y 2  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H  $F_{nC1} := \frac{F_{ST}}{N_{Z1} + N_{Z2}} = 37.96 \text{ kgf}$

*Caso 2 (C2)*

Fuerza en cada nodo para el Caso C2, Zona 1  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H  $F_{nC2Z1} := \frac{f_{Wm} \cdot h_{Z1}}{N_{Z1}} = 22.41 \text{ kgf}$

Fuerza en cada nodo para el Caso C2, Zona 2  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H  $F_{nC2Z2} := \frac{f_{WT} \cdot h_{Z2}}{N_{Z2}} = 38.64 \text{ kgf}$

*Caso 3 (C3)*

Fuerza en cada nodo para el Caso C3, Zona 1  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H  $F_{nC3Z1} := \frac{f_{WT} \cdot h_{Z1}}{N_{Z1}} = 37.35 \text{ kgf}$

Fuerza en cada nodo para el Caso C3, Zona 2  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H  $F_{nC3Z2} := \frac{f_{Wm} \cdot h_{Z2}}{N_{Z2}} = 23.19 \text{ kgf}$

6.3 RESUMEN DE DISTRIBUCION DE LA FUERZA DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA SEGUN LA DIRECCION DEL VIENTO

Fuerza en cada nodo de la estructura

**DIRECCIÓN DE VIENTO: NORMAL**

$$VN = \begin{bmatrix} \text{"CASO"} & \text{"ZONA 1 (kgf)}" & \text{"ZONA 2 (kgf)}" \\ 1 & 37.96 & 37.96 \\ 2 & 22.41 & 38.64 \\ 3 & 37.35 & 23.19 \end{bmatrix}$$

Tabla 1. Fuerza de viento estructura

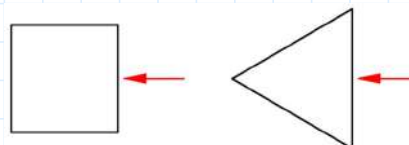


Figura 11. Fuerza de viento dirección normal

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 45°**

$$V45 = \begin{bmatrix} \text{"CASO"} & \text{"ZONA 1 (kgf)}" & \text{"ZONA 2 (kgf)}" \\ 1 & 42.77 & 42.77 \\ 2 & 25.25 & 43.54 \\ 3 & 42.08 & 26.12 \end{bmatrix}$$

Tabla 2. Fuerza de viento estructura

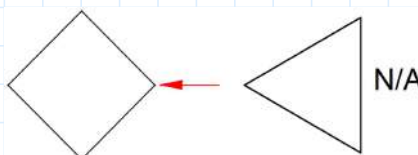


Figura 12. Fuerza de viento dirección 45°

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 90°**

$$V_{90} = \begin{bmatrix} \text{"CASO"} & \text{"ZONA 1 (kgf)}" & \text{"ZONA 2 (kgf)}" \\ 1 & 37.96 & 37.96 \\ 2 & 22.41 & 38.64 \\ 3 & 37.35 & 23.19 \end{bmatrix}$$

Tabla 3. Fuerza de viento estructura

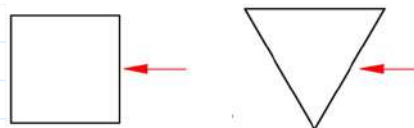


Figura 13. Fuerza de viento dirección 90°

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 60°**

$$V_{60} = \begin{bmatrix} \text{"CASO"} & \text{"ZONA 1 (kgf)}" & \text{"ZONA 2 (kgf)}" \\ 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tabla 4. Fuerza de viento estructura



Figura 14. Fuerza de viento dirección 60°

**6.4 DISEÑO DE LA FUERZA DEL VIENTO EN LOS ACCESORIOS**

*Presión de velocidad  $q_{zA}$*

Se asume de manera conservadora que todas las antenas instaladas en la torre están ubicadas en el extremo superior de esta.

*Velocidad básica de viento  $V$*

Velocidad básica del viento para la condición de carga (m/s)  $V = 35$

*Coefficiente de presión de velocidad  $K_{zA}$*

Categoría de Exposición  $CE = "C"$   
 Art. 2.6.5.1.2 ANSI/TIA-222-H

Altura sobre el nivel del suelo en la base del accesorio  $z_A := z + H_A = 21955 \text{ mm}$

Coefficiente de presión de velocidad mínimo  $K_{zmin} = 0.85$

Altura nominal de la capa límite atmosférica  $z_g = 274 \text{ m}$

Exponente de la ley de potencia de la velocidad del viento en ráfagas de 3 segundos  $\alpha = 9.5$

Coefficiente de presión de velocidad Art. 2.6.5.2 ANSI/TIA-222-H  $K_{zA} := \min \left( \max \left( 2.01 \cdot \left( \frac{z_A}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}, K_{zmin} \right), 2.01 \right) = 1.18$

*Factor topográfico  $K_{ztA}$*

Categoría topográfica  $CT = 3$

Altura de la cresta sobre el terreno circundante  $H = 400 \text{ m}$

Ubicación de la estructura desde la cima o escarpe  $L_{eh} = "N/A"$

Constante de terreno	$K_c = 1$
Constante topográfica	$K_t = 0.53$
Factor de atenuación de altura	$f = 2$
Factor de reducción de altura	$K_{hA} := e^{\frac{f \cdot z_A}{H}} = 1.12$
Factor topográfico Art. 2.6.6.2.1 ANSI/TIA-222-H	$K_{zTA} := \left(1 + \frac{K_c \cdot K_t}{K_{hA}}\right)^2 = 2.18$

*Factor de aceleración del viento en azotea  $K_{sA}$*

¿La estructura se apoya sobre una techumbre?	$A.Techo = \text{“No”}$
Altura sobre el nivel del techo en la base del accesorio	$z_{rA} := z_r + H_A = 21955 \text{ mm}$
Altura de antepecho (Parapet Height)	$h_{pt} = 1500 \text{ mm}$
Distancia horizontal desde la cara de barlovento hasta el centro de la estructura.	$X_b = 5000 \text{ mm}$
Altura de la cara a barlovento del edificio	$H_s = 60 \text{ m}$
Ancho de la cara a barlovento del edificio	$W_s = 10 \text{ m}$
Zona de ráfaga 1	$H_1 = 2500 \text{ mm}$
Zona de ráfaga 2	$H_2 = 11500 \text{ mm}$
Factor de aceleración de cálculo	$K_{scal} := \min\left(1 + 0.3 \cdot \max\left(\frac{W_s}{H_s}, 1\right), 1.1\right) = 1.1$

Factor de aceleración del viento en azotea	$K_{sA} = 1$
--	--------------

*Factor de elevación del suelo  $K_{eA}$*

Elevación media de la base del accesorio sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)	$z_{sA} := z_s + \frac{H_A}{m} = 706.76$
Factor de elevación del suelo Art. 2.6.11.6 ANSI/TIA-222-H	$K_{eA} := e^{-0.000119 \cdot z_{sA}} = 0.92$

*Factor de probabilidad de la dirección del viento  $K_d$*

Factor de probabilidad de la dirección del viento	$K_d = 0.85$
---	--------------

Presión de Velocidad	$q_{zA} := 0.613 \cdot K_{zA} \cdot K_{zTA} \cdot K_{sA} \cdot K_{eA} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot \frac{N}{m^2} = 1508.09 \frac{N}{m^2}$
----------------------	--

$$q_{zA} = 153.78 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Factor de efecto de ráfaga  $G_{hA}$

Altura total de ubicación de la base de la antena  $H_{TEA} = 21.96 \text{ m}$

Factor de efecto de ráfaga  
Art. 2.6.9.1 ANSI/TIA-222-H

$$G_{hA} := \max\left(\min\left(0.85 + 0.15 \cdot \left(\frac{H_{TEA}}{47.5 \text{ m}} - 3\right), 1\right), 0.85\right) = 0.85$$

Área efectiva proyectada del accesorio  $EPA_A$

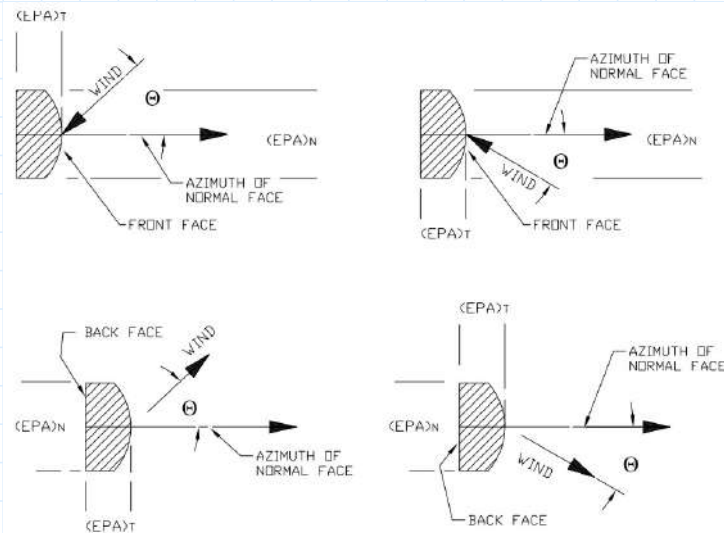


Figura 15. Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H

Ángulo relativo entre el acimut asociado a la cara normal de la accesorio y la dirección del viento  $\theta := 0 \text{ deg}$

¿Accesorio fuera de la sección transversal de la estructura?  $UA := \text{Si}$

Factor de blindaje para accesorios

$$K_a = 1$$

Área proyectada del accesorio asociada con la cara de barlovento normal al acimut

$$A_{AN} := \frac{\pi \cdot \phi_A^2}{4} = 1.13 \text{ m}^2$$

Área proyectada del accesorio asociada con la cara de barlovento normal al acimut

$$A_{AT} := \phi_A \cdot E_A = 0.9 \text{ m}^2$$

Coefficiente de fuerza  $C_a$

Relación de aspecto asociada con la cara normal de barlovento del accesorio

$$R_{AN} := 1$$

Relación de aspecto asociada con la cara normal de barlovento del accesorio

$$R_{AT} := \frac{\phi_A}{E_A} = 1.6$$

Coefficiente de velocidad para accesorios con la cara normal de barlovento. Tabla 2-9 ANSI/TIA-222-H  $C_{AN} := \sqrt{K_{zA} \cdot K_{zTA} \cdot K_{eA}} \cdot V \cdot \frac{\phi_A}{m} = 64.56$

Coefficiente de fuerza para accesorios con la cara normal de barlovento  $C_{aN} = 0.5$   
Tabla 2-9 ANSI/TIA-222-H

Coefficiente de fuerza para accesorios con la cara lateral de barlovento  $C_{aT} = 0.9$   
Tabla 2-9 ANSI/TIA-222-H

Área proyectada efectiva asociada con la cara normal de barlovento del accesorio. Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H  $EPA_N := \frac{\pi \cdot \phi_A^2}{4} = 1.13 \text{ m}^2$

Área proyectada efectiva asociada con la cara lateral de barlovento del accesorio. Figure 2-2 ANSI/TIA-222-H  $EPA_T := \phi_A \cdot E_A = 0.9 \text{ m}^2$

Área efectiva proyectada del accesorio  $EPA_A := K_a \cdot (EPA_N \cdot \cos(\theta)^2 + EPA_T \cdot \sin(\theta)^2) = 1.13 \text{ m}^2$   
Art. 2.6.11.2 ANSI/TIA-222-H

Fuerza de viento sobre el accesorio  $F_{SAi} := q_{zA} \cdot G_{hA} \cdot EPA_A = 147.84 \text{ kgf}$   
Art. 2.6.11.2 ANSI/TIA-222-H

## 6.5 RESUMEN DE DISTRIBUCION DE LA FUERZA DE VIENTO SOBRE CADA ANTENA

### Fuerza de viento en el nodo de cada antena

**DIRECCIÓN DE VIENTO: NORMAL**

$$A_N = \begin{bmatrix} \text{"ANTENA"} & \text{"Fn (kgf)}" & \text{"Ft (kgf)}" \\ \text{"A1"} & 147.84 & 117.33 \\ \text{"A2"} & 57.75 & 14.71 \\ \text{"A3"} & 410.65 & 156.86 \\ \text{"A4"} & 173.5 & 50.98 \\ \text{"A5"} & 173.5 & 101.96 \end{bmatrix}$$

Tabla 5. Fuerza de viento Antenas

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 90°**

$$A_{90} = \begin{bmatrix} \text{"ANTENA"} & \text{"Fn (kgf)}" & \text{"Ft (kgf)}" \\ \text{"A1"} & 147.84 & 117.33 \\ \text{"A2"} & 57.75 & 57.75 \\ \text{"A3"} & 410.65 & 156.86 \\ \text{"A4"} & 173.5 & 50.98 \\ \text{"A5"} & 173.5 & 101.96 \end{bmatrix}$$

Tabla 6. Fuerza de viento Antenas

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 45°**

$$A_{45} = \begin{bmatrix} \text{"ANTENA"} & \text{"Fn (kgf)}" & \text{"Ft (kgf)}" \\ \text{"A1"} & 132.58 & 132.58 \\ \text{"A2"} & 36.23 & 36.23 \\ \text{"A3"} & 283.76 & 283.76 \\ \text{"A4"} & 112.24 & 112.24 \\ \text{"A5"} & 137.73 & 137.73 \end{bmatrix}$$

Tabla 7. Fuerza de viento Antenas

**DIRECCIÓN DE VIENTO: 60°**

$$A_{60} = \begin{bmatrix} \text{"ANTENA"} & \text{"Fn (kgf)}" & \text{"Ft (kgf)}" \\ \text{"A1"} & 0 & 0 \\ \text{"A2"} & 0 & 0 \\ \text{"A3"} & 0 & 0 \\ \text{"A4"} & 0 & 0 \\ \text{"A5"} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Tabla 8. Fuerza de viento Antenas

## 07 CARGAS GRAVITACIONALES

### 7.1 PESO DE LA ESTRUCTURA

Numero total de nodos de la estructura

$$N_{ST} := N_{Z1} + N_{Z2} = 68$$

Fuerza en cada nodo por peso de la estructura  
Art. 3.4.4 ANSI/TIA-222-H

$$P_{nST} := \frac{P_{ST}}{N_{ST}} = 45.66 \text{ kgf}$$

### 7.2 RESUMEN PESO DE LAS ANTENAS

PESO ANTENAS	
"ANTENA"	"PReq (kgf)"
"A1"	32
"A2"	32
"A3"	64
"A4"	32
"A5"	32

Tabla 9. Peso de las antenas

## 08 LIMITACIÓN DE DEFORMACIONES

### 8.1 DEFORMACIONES LATERALES

Deformación lateral máxima del marco superior de la torre

$$\Delta_{mt} := 34.22 \text{ mm}$$

Altura total de la torre

$$h_T = 21.76 \text{ m}$$

Deformación horizontal máxima  
Art. 3.7.3 ETG-A.4.10

$$\Delta_{max} := \frac{h_T}{150} = 145.03 \text{ mm}$$

if $\Delta_{mt} \leq \Delta_{max}$	= "OK"
"OK"	
else	
"FAIL"	

### 8.2 DEFORMACIÓN ROTACIONAL

Deformación lateral máxima del marco superior de la torre

$$\Delta_{mt} = 34.22 \text{ mm}$$

Altura total de la torre

$$h_T = 21.76 \text{ m}$$

Angulo de rotación de la torre

$$\theta_t := \text{atan}\left(\frac{\Delta_{mt}}{h_T}\right) = 0.09 \text{ deg}$$

Rotación admisible  
Art. 2.8.2 ANSI/TIA-222-H

$$\theta_{tadm} := 4 \text{ deg}$$

if $\theta_t \leq \theta_{tadm}$	= "OK"
"OK"	
else	
"FAIL"	