

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Determinación de la velocidad máxima de viento a partir de iteraciones de carga en torre auto soportada en el proceso de análisis estructural aplicando el software MS Tower

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Por:

Bach. Yocelyn Aurora Anchapuri Chambilla

Bach. Derry Gustavo Andrada Palomino

Bach. Natalia Raquel Benavides Paredes

Asesor:

Ing. Ferrer Canaza Rojas

Lima, mayo del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Ing. Ferrer Canaza Rojas, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión,

DECLARO:

Que la presente investigación titulada ***“Determinación de la velocidad máxima de viento a partir de iteraciones de carga en torre autosoportada en el proceso de análisis estructural aplicando el software MS Tower”*** constituye la memoria que presenta(n) el(los) bachiller(es) **Yocelyn Aurora Anchapuri Chambilla, Derry Gustavo Andrada Palomino y Natalia Raquel Benavides Paredes**, tiene un índice de similitud de 4 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 30 días del mes de mayo del año 2023



Ing. Ferrer Canaza Rojas
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **22** día(s) del mes de **mayo** del año 2023 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario **Mg. Roberto Roland Yoctun Rios** y los demás miembros: **Ing. David Diaz Garamendi** y el asesor **Ing. Ferrer Canaza Rojas** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Determinación de la velocidad máxima de viento a partir de iteraciones de carga en Torre Auto soportada en el proceso de análisis estructural aplicando el software MS Tower"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **NATALIA RAQUEL BENAVIDES PAREDES**.....

.....b) **YOCELYN AURORA ANCHAPURI CHAMBILLA**.....

.....c) **DERRY GUSTAVO ANDRADA PALOMINO**.....

.....conducente a la obtención del título profesional de:..... **INGENIERO CIVIL**.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **NATALIA RAQUEL BENAVIDES PAREDES**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **YOCELYN AURORA ANCHAPURI CHAMBILLA**

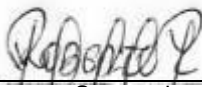
CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato (C): **DERRY GUSTAVO ANDRADA PALOMINO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy bueno	Sobresaliente

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente
Mg. Leonel
Chahuares
Paucar




Secretario
Mg. Roberto Roland
Yoctun Rios

Asesor
Ing. Ferrer Canaza
Rojas



Candidato/a (a)
Natalia Raquel
Benavides
Paredes

Miembro
Ing. David Diaz
Garamendi



Candidato/a (b)
Yocelyn Aurora
Anchapuri Chambilla

Miembro



Candidato/a (c)
Derry Gustavo Andrada
Palomino

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por estar con nosotros de guía a lo largo de toda la carrera, por ser nuestra fortaleza en momentos difíciles a la par de nuestros padres, quienes han sido siempre el motor que nos impulsa para lograr nuestras metas y sueños, quienes siempre estuvieron a nuestro lado en los días y noches más difíciles durante las horas de estudio además, ellos representan nuestros mejores guías de vida. También agradecemos a nuestro asesor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos los cuales seguiremos aplicando en nuestro futuro profesional.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
3.1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	7
3.1.1 Fuerzas interiores	7
3.1.2 Relación demanda – capacidad.....	7
3.1.3 Control de desplazamiento	9
3.2 ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MÁXIMA DE VIENTO	9
4 CONCLUSIONES	10

Determinación de la Velocidad Máxima de Viento a partir de iteraciones de carga en Torre Autosoportada en el proceso de Análisis Estructural Aplicando el Software MS Tower

Determination of the Maximum Wind Speed from load iterations in a Self-Supported Tower in the Structural Analysis process Applying the MS Tower Software

Yocelyn Aurora Anchapuri Chambilla (*), Natalia Raquel Benavides Paredes (*), Gustavo Derry Andrada Palomino (*), Ferrer Canaza Rojas (**)

RESUMEN

En todo el mundo se han destacado una serie de derrumbes relacionados a las torres de telecomunicaciones debido a su gran índice de fallo ante grandes cargas de viento, estas aseguran la conectividad de todo un país garantizando su desarrollo, por lo tanto, es importante realizar un análisis minucioso y evitar grandes y graves pérdidas económicas y sociales, por ello la presente investigación tuvo como objetivo determinar la máxima velocidad de viento en torres autosoportadas con cambios de sección en sus montantes a partir de un análisis estructural bajo la normativa TIA/EIA 222 G aplicando el software MS Tower. Los sujetos de análisis fueron tres torres autosoportadas de 36 m, 48 m, y 60 m con montante de sección tubular, las mismas que fueron sometidas a cambio de sección UV (torre autosoportada triangular), en el análisis estructural se presentan los resultados de cargas axiales, desplazamiento y la relación demanda - capacidad para las torres de 36 m, 48 m y 60 m. Finalmente, por medio de un decremento de la carga de viento se estimó la velocidad máxima resistente para el modelo original y modificado, teniendo como resultado para las torres una velocidad máxima de 144 km/hr, 96 km/hr y 80 km/hr respectivamente.

Palabras clave: Análisis estructural; carga; secciones; torre autosoportada; viento.

ABSTRACT

Throughout the world, a series of collapses related to telecommunications towers have been highlighted due to their high failure rate in the face of high wind loads, these ensure the connectivity of an entire country, guaranteeing their development, therefore, it is important to carry out a thorough analysis and avoid large and serious economic and social losses, for this reason the objective of this investigation was to determine the maximum wind speed in self-supporting towers with section changes in their uprights based on a structural analysis under the TIA/EIA 222 G standard. applying the MS Tower software. The subjects of analysis were three self-supported towers of 36 m, 48 m, and 60 m with a tubular section upright, the same ones that were subjected to a change of UV section (triangular self-supported tower), in the structural analysis the load results are presented. axial forces, displacement and the demand-capacity relationship for the 36 m, 48 m and 60 m towers. Finally, by means of a decrease in the wind load, the maximum resistant speed was estimated for the original and modified models, resulting in a maximum speed of 144 km/hr, 96 km/hr and 80 for the towers. km/hr respectively.

Keywords: Structural analysis; burden; sections; self-supporting tower; wind.

(*). Ingeniería civil. Universidad Peruana Unión, Lima (Perú).

(**) Docente, Ingeniería civil. Universidad Peruana Unión, Lima (Perú).

Persona de contacto/Corresponding author: yocelynanchapuri@upeu.edu.pe (Y. Anchapuri Chambilla)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1193-2159> (Y. Anchapuri Chambilla); <https://orcid.org/0000-0001-5212-4513> (N. Benavides Paredes); <http://orcid.org/0000-0002-1332-8529> (G. Andrada Palomino); <https://orcid.org/0000-0003-3952-0962> (F. Canaza Rojas)

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una creciente necesidad de la humanidad por acceder a una comunicación más rápida, clara y confiable, por tanto, es importante mencionar que el fenómeno de las comunicaciones es relevante, así como el internet y los teléfonos celulares los cuales basan su funcionamiento en antenas de transmisión. Desde esta perspectiva es importante que la ingeniería desarrolle diseños adecuados.

Las torres de telecomunicaciones son estructuras que deben soportar carga de peso propio y carga de viento, siendo esta última la principal causa de fallo (5). Muchos de los colapsos de torres según (10) depende de varios factores, como un análisis estructural que subestima las cargas correspondientes de diseño, detalles inadecuados o errores de fabricación, etc. Y según (7) el número de fallas en torres es significativamente mayor que en otras estructuras con similar complejidad.

Por eso, lo que determina en el diseño de las obras de ingeniería que se enfrentan al fenómeno del viento es la velocidad básica del mismo (1). De hecho, la determinación de la velocidad máxima de viento en torres autosoportadas con modificaciones en sus elementos, fueron analizadas en varias investigaciones, así como (5) que realizaron un análisis considerando velocidades máximas de viento, otros autores como (8) aplicó una metodología que consiste en el estudio de la rotura de torres de telecomunicaciones expuestas a fuertes vientos, recolectó datos relacionados con sesenta y ocho torres para procesar datos estructurales, geográficos y climáticos correlacionándolos entre sí, cuyos resultados indican que el 80 % de las torres colapsadas presentan incremento de velocidad del viento por la topografía, alcanzado velocidades por encima de 100 km/hr hasta los 315 km/hr.

Por otra parte, los problemas comunes que sufren estas torres por diferentes motivos surgen numerosas investigaciones en torno a su comportamiento estructural. Varias investigaciones como la de (2) y (6) indican que es necesario profundizar en su estudio para comprender mejor su comportamiento frente al viento.

Entonces, si las torres están sujetas a diferentes combinaciones de cargas, las cuales dependen de las zonas de viento y las características geográficas además de su peso propio, estas deben ser dimensionadas para soportar las combinaciones de cargas adecuadas, y cuando se aplique la carga de viento se debe visualizar con atención la correcta distribución de carga, ya que esta depende de la altura. (3)

En este contexto, el objetivo de la investigación es diseñar tres torres autosoportadas de 36 m, 48 m y 60 m con montante de sección tubular sometida a un cambio de sección UV con la finalidad de determinar la velocidad resistente de viento en torre autosoportada con cambios de sección en su montante a partir de un análisis estructural bajo la normativa TIA/EIA 222-G aplicando el software Ms Tower.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo estructural para las tres torres autosoportadas se considera un modelo original de altura 36 m, 48 m, y 60 m con montantes de sección tubular (figura 1^a). Estas tres torres son modificadas cada una con sección UV en los montantes (figura 1b).

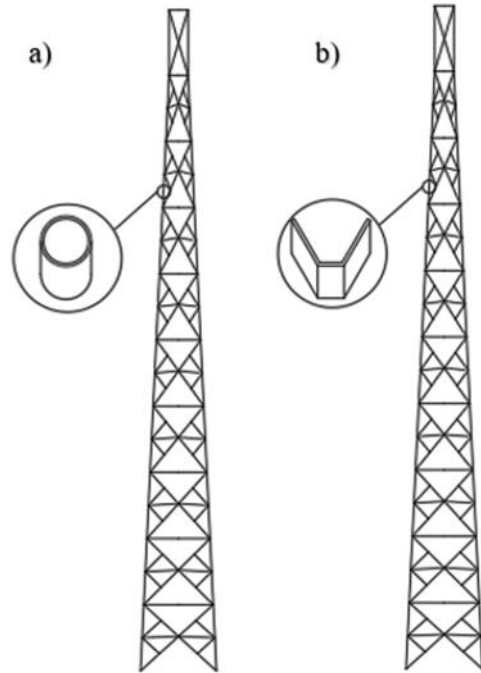


Figura 1. Sección de montantes: a) Tubular, b) UV

La geometría de cada una de las torres (figura 2) es de forma troncotetraedro y prismática.

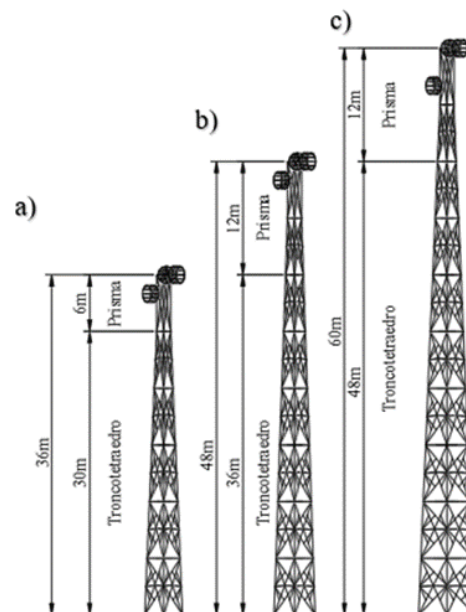


Figura 2. Geometría torres: a) torre 36 m, b) torre 48 m, c) torre 60 m
El material de los montantes es Acero A572 Gr 50 de alta resistencia y baja aleación, con un límite de fluencia de 350 MPa y

para los elementos acero estructural A36 compuesto por carbono y otras cantidades de minerales como manganeso y silicio para mejorar su resistencia a la tracción, con límite de fluencia de 250 MPa. Las propiedades trabajan en un rango lineal y elástico.

Las características y materiales están definidos en la tabla 1.

Tabla 1. Características modelos torres de estudio

Características	Torres		
	Altura	36 m	48 m
Altura sección troncotetraedro	30 m	36 m	48 m
Altura sección piramidal	6 m	12 m	12 m
Base	6 m	5 m	4 m
Velocidad regional	160 km/h (44.44 m/s)		
Material Montantes	Acero ASTM A- 572 Gr 50		
Material otros elementos	ASTM A-36		

El análisis y diseño estructural es realizado en el software Ms Tower, especializado en el control y análisis de torres de telecomunicación y energía, asimismo Ms Tower incluye los métodos de análisis estático lineal y no lineal, frecuencia, modos de vibración y espectro de respuesta.

La unión de los tranques, diagonales y columnas en todos los casos es por medio de pernos, motivo por el cual las uniones se consideraron articuladas. Por esta razón se incluye el peso de las uniones en un 10 % del peso total de la torre (5).

Respecto a la velocidad básica de viento, se tomó la más crítica que está en el mapa eólico del Perú según la Norma Técnica Peruana (NTP E.020) de 2006 que es de 130 km/h a los 10 metros de altura. Según (11) para el uso internacional es necesario determinar la velocidad básica del viento a una ráfaga de 3 segundos; así que, la velocidad básica de viento para las torres de esta investigación fue de 160 km/hr.

Las combinaciones de carga para estado límite de resistencia (tabla 2) se consideró a partir de (11).

Tabla 2. Combinaciones norma americana TIA/EIA 222 G

Combinaciones TIA/EIA 222 G.	Donde:
1.2 D + 1.6 Wo	Wo = carga de viento sin hielo. D = carga permanente
0.9 D + 1.6 Wo	

En los modelos modificados se realizaron iteraciones de carga de viento, disminuyendo en un 10 % (Tabla 3) para las torres que sobrepasaron en su relación demanda- capacidad el 100%. Este proceso se repite hasta que la relación demanda- capacidad sea menor que 1. De esta forma se determina la velocidad máxima que es capaz de resistir la estructura.

Tabla 3. Decremento Carga de Viento

Modelos	Decremento carga de viento	Relación demanda - capacidad	
Original	0%	< 1	Cumple
Modificado	0%	> 1	No Cumple
	-10%	> 1	No Cumple
	-20%	> 1	No Cumple
	-30%	< 1	Cumple

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis estructural

A. Fuerzas interiores

El análisis estructural en las torres investigadas debe garantizar resistencia y estabilidad, de tal forma que la resistencia de diseño (ϕR_n) sea mayor o igual que la resistencia requerida, esta es la sumatoria de las sollicitaciones debido a las cargas mayoradas y combinaciones de cargas.

Los resultados que se muestran son a partir de un análisis estructural de las torres de 36 m, 48 m y 60 m. Los elementos que conforman la estructura espacial se someten principalmente a carga axial en compresión y tensión, los resultados de momentos y cortantes se desprecian por tener valores muy pequeños.

Para los elementos más importantes de la estructura (figura 3) se muestra los resultados de la carga axial a compresión y el incremento de carga que se obtuvo a partir del modelo con sección tubular y UV en los montantes. El análisis de los resultados reflejó que la torre original tiene menor valor de sollicitación en la carga axial a compresión en comparación con la torre con montantes UV, el máximo incremento de carga para los montantes es 22%, para las diagonales 15% y las horizontales 25%.

Por otro lado, la mayor carga en las torres se concentra en los montantes, cercano a la base de la torre. En este sentido, (4) indicaron que es un comportamiento normal en torres autosoportadas expuestas a la acción del viento, ya que el comportamiento es similar a un voladizo.

Los resultados de la carga axial a tensión (figura 4) muestran un mismo comportamiento con los resultados de la carga axial a compresión (figura 3), se puede apreciar un mayor incremento de fuerzas interior al modificar las secciones los montantes a UV.

B. Relación demanda – capacidad

Partiendo de lo anteriormente dicho sobre el diseño por resistencia, este es un método de dimensionamiento de elementos estructurales, por tanto, las cargas calculadas que producen las cargas mayoradas en los elementos no deben ser mayor que la resistencia de los elementos,

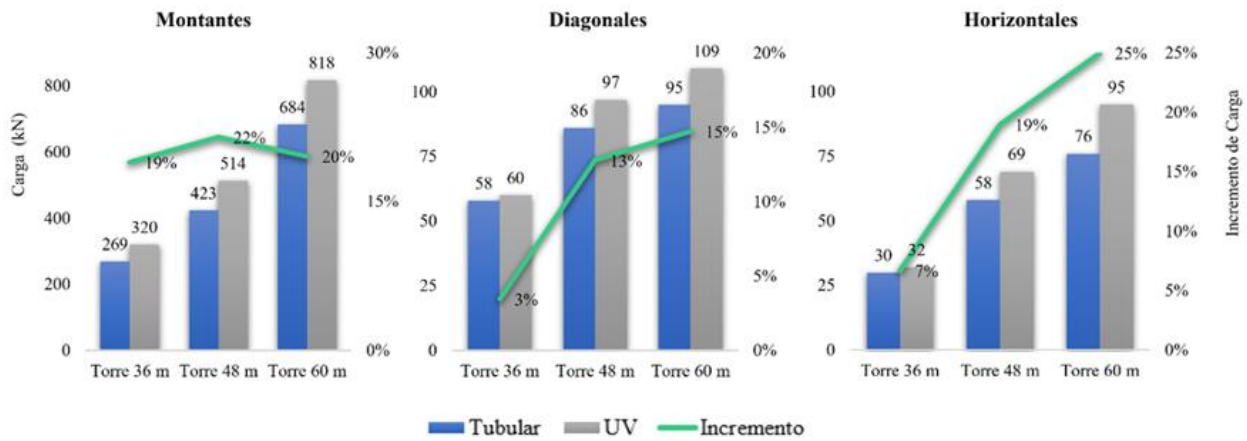


Figura 3. Carga Axial a Compresión

de tal manera se hace la relación demanda – capacidad de los elementos (figura 5) y este debe ser menor que 1 para que la estructura esté apta para el servicio. Se aprecia que todas las torres que fueron modificados en las montantes a UV supera el

100%, es decir esta torre está en colapso y presenta fallas. (9), por su parte indicó, que el desempeño estructural en los montantes con sección tubular es mejor y muestra mayor eficiencia motivo de su simetría en todos los sentidos.

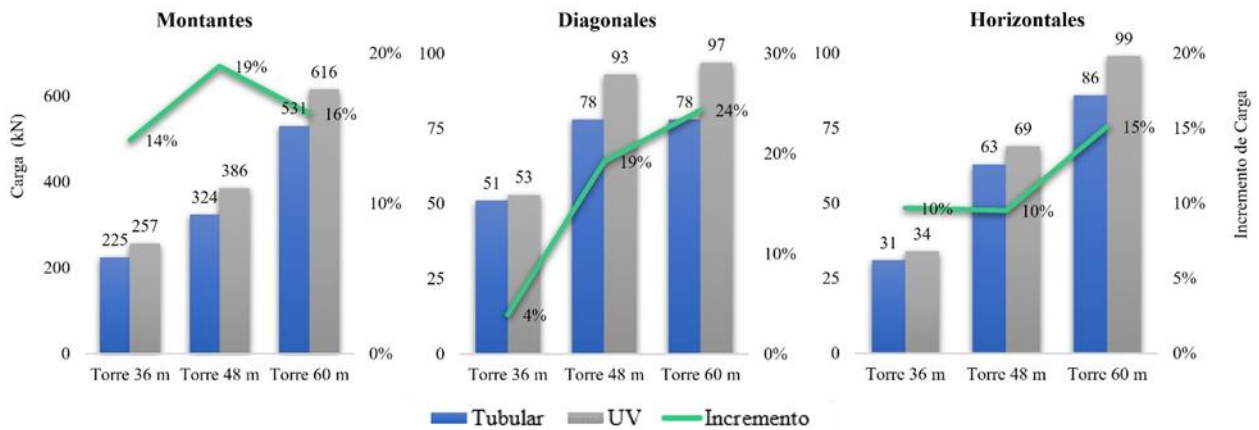


Figura 4. Carga Axial a Tensión

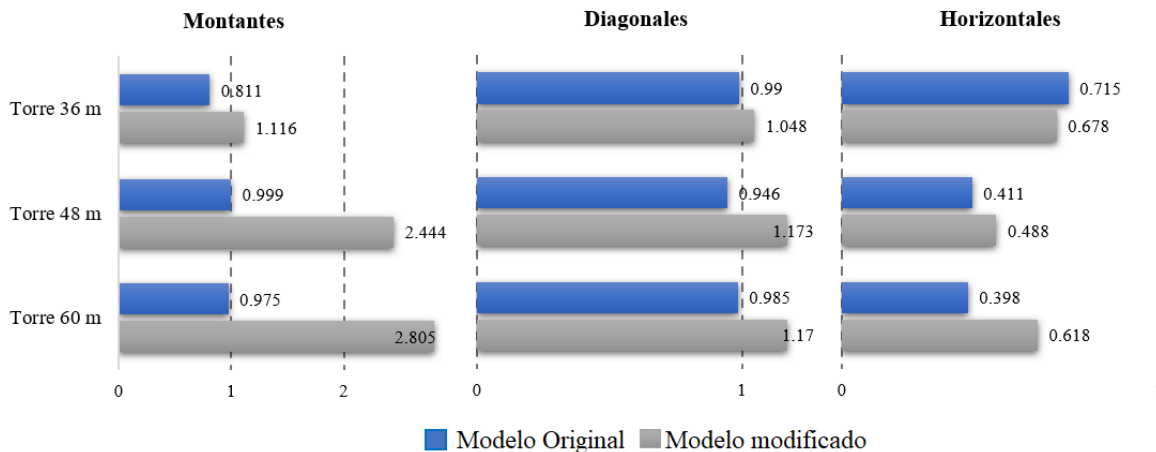


Figura 5. Relación Demanda – Capacidad de cada elemento

C. Control de desplazamiento

En la normativa (11) refiere qué, en ningún punto de la estructura las deformaciones bajo cargas de servicio deberán superar el límite de 3% de la altura total de la torre para el desplazamiento. Los desplazamientos en función a la altura (figura 6), indica un comportamiento que es directamente proporcional, a

mayor altura mayor desplazamiento. Así mismo para las torres originales presenta un menor desplazamiento que para las torres modificadas. El desplazamiento máximo (figura 7), para las torres modificadas de 36 m, 48 m y 60 m es de 0,19 m, 0,35 m y 0,63 m respectivamente, se encuentran dentro del rango permisible para desplazarse, por lo tanto, cumple con la verificación de la norma americana.

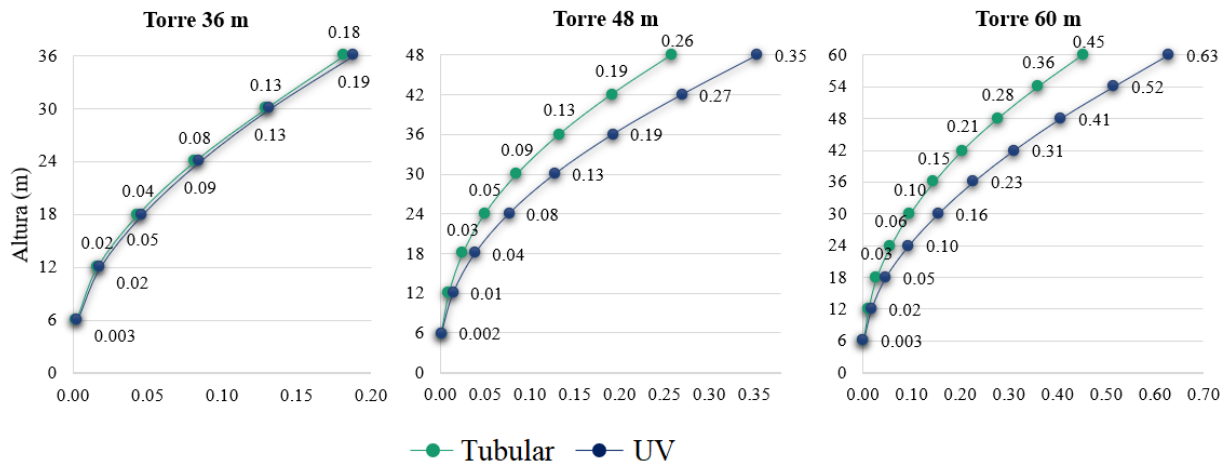


Figura 6. Desplazamiento en función a la altura

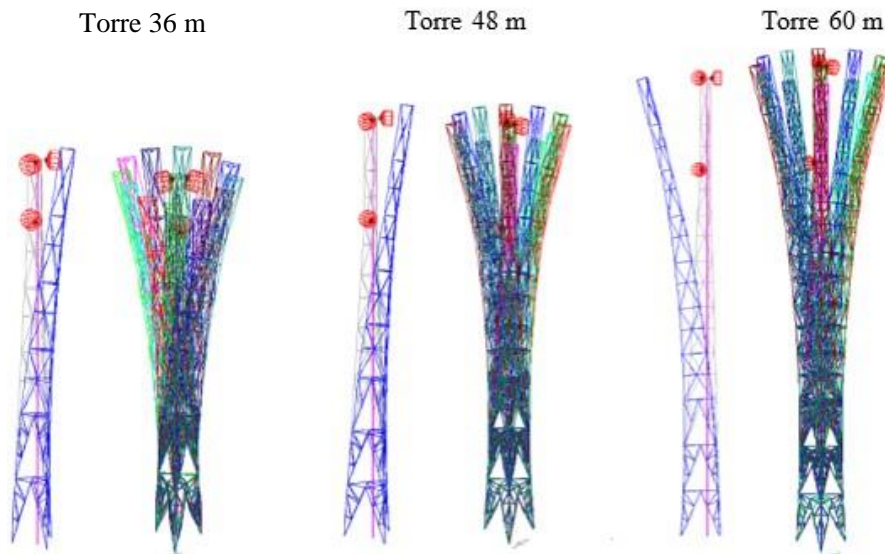


Figura 7. Desplazamientos máximos.

3.2. Análisis de la determinación de la velocidad máxima de viento

Para determinar la velocidad máxima de viento que es capaz de resistir la estructura se realizó un análisis en los montantes como un elemento principal de las torres autosoportadas. Se tiene como resultado que las torres con sección tubular en los montantes son capaces de resistir la velocidad de viento

propuesta. Con respecto a las torres que se modificó su sección de los montantes se encuentra en fallo para la misma velocidad (figura 5).

Para los modelos de las torres que están fallando se realizó iteraciones de la carga de viento, por lo cual se disminuye la velocidad de viento en un 10% hasta que la relación demanda –

capacidad sea menor que 1, de tal manera se determina la velocidad máxima de viento que resiste la estructura. Para las torres modificadas con altura de 36 m, 48 m y 60 m se encuentran en fallo a una velocidad inicial de 160 km/hr (figura 8). No obstante, con un decremento de carga de viento del

10% la torre de 36 m es resistente. Sin embargo, la torre de 48 m solo resiste si se disminuye un 40% la carga de viento, 96 km/hr. Para la torre con mayor altura se encuentra en servicio solo al disminuir la mitad de la carga, resistiendo una velocidad de 80 km/hr.

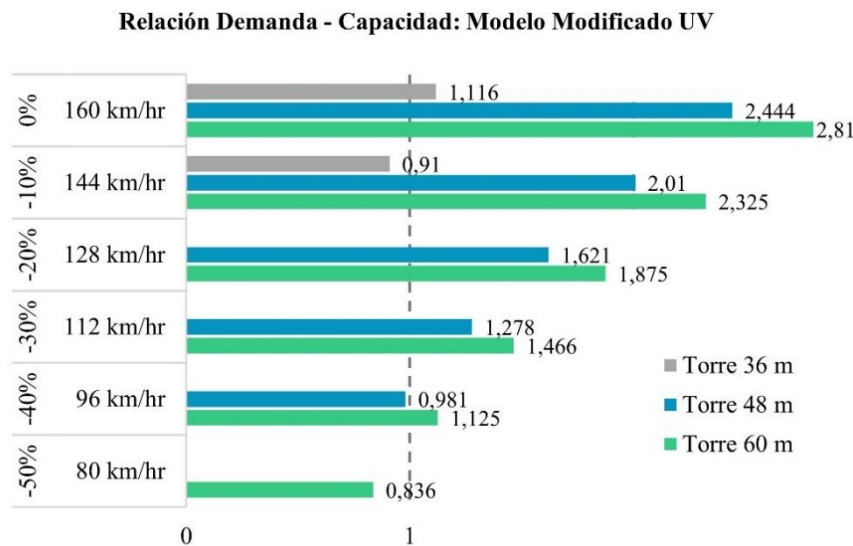


Figura 8. Relación Demanda - Capacidad, modelos modificados

4. CONCLUSIONES

Las modificaciones de sección que se realiza en los montantes es un análisis minucioso ya que las variaciones en la capacidad resistente varían hasta un 25%, valores que tienen bastante influencia, motivo de reconsiderar un análisis y diseño estructural. Para todas las torres el comportamiento en los montantes que componen el elemento principal tiene un cambio en sus fuerzas interiores mayor al 15% en el modelo modificado con respecto al modelo original.

Los resultados de las fuerzas interiores apuntan a que las torres autoportadas con sección tubular en los montantes son las que más resistencia presentan

Ningún modelo con sección UV está apta para el servicio en las condiciones propuestas, para que estas torres de 36 m, 48 m y 60 m no fallen deben soportar el 90%, 60% y 50% respectivamente de la carga de viento definida, entonces, se determina su velocidad máxima de 144 km/hr, 96 km/hr y 80 km/hr respectivamente.

REFERENCIAS / REFERENCES

- (1) Aldereguía, C., Ballote, J., Fernández, I., Elena, V. (2022). Corrección por exposición de las velocidades de viento medidas en dos estaciones de Cuba, *Revista de Ingeniería y Desarrollo*, vol. 39.
- (2) Bruneau, M., Maged, M., Dryburgh, R. (1989). Evolution of design standards and recorded failures of guyed towers in Canada. *Canada Journal Civil Engineering*, 16, pp. 725-732
- (3) Duhovnik, J., Tomšič, P., (2012). A comparative criteria method for telecommunications towers with different topological designs. ISSN 1392 - 1207. *MECHANIKA.*, 18(2), pp. 127.
- (4) Fernández, I., Parná, V., Martín, P., Corona, Y., Hernández, I. (2018). Dynamic analysis of a self-supported tower subjected to wind and seismic loadings, *Obras y Proyectos* 23, pp. 78-86.
- (5) García, K., Parnás, V., Hernández, D. (2019). Análisis estructural de torre autoportada con modificaciones en sus elementos bajo la acción del viento, *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, pp. 30-45.
- (6) Mikitarenko, M., Perelmuter, A., (1998). Safe fatigue life of steel towers under the action of wind vibrations. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, pp. 74-76.
- (7) Mogens, N., (2006). Guyed Masts Exposed to Guy Failure. *Structures Congress: Structural Engineering and Public Safety*. Missouri, 18-21 mayo 2006. Estados Unidos.
- (8) Parnás, V. (2008). Fallas estructurales en torres reticuladas para telecomunicaciones, *Arquitectura y Urbanismo*.
- (9) Rodríguez, E. (2015). Análisis y diseño comparativo entre una torre autoportada triangular de 40m de altura con montantes y una con montantes circulares. *Facultad de ingeniería*, pp. 50-65.

- (10) Tapia, E., Ibarra, S., De León, D. (2017). Mecanismos de colapso de torres eléctricas bajo carga de viento, Revista de Ingeniería de Estructuras e Infraestructuras, vol. 13, pp. 766-782.
- (11) TIA/EIA-222-G (2005). Structural standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures. Telecommunications Industry Association, USA.