



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS DE LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE TORRES DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

Udrizar Lezcano, Ma. Sandra¹, De Bortoli, Mario E.¹ y Marighetti, Jorge O.¹

¹ Laboratorio de Aerodinámica – Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste
Av. Las Heras 727 Resistencia Chaco Argentina
correo-e: sudrizar@ing.unne.edu.ar.

RESUMEN

Las torres metálicas reticuladas son ampliamente utilizadas tanto como elemento integrante de los sistemas de transmisión de energía eléctrica o como soportes de antenas de telecomunicaciones. Debido al bajo peso propio de estas estructuras y la no ocurrencia de terremotos en nuestra región, la solicitación más importante está ocasionada por acción del viento, que actúa de forma dinámica, requiriendo el proyecto, cálculo y ejecución de las mismas el conocimiento de técnicas y procedimientos de análisis estructural y eléctrico.

La determinación de las cargas causadas por este fenómeno meteorológico está establecida en diversos códigos o reglamentos. En los mismos se considera que la presión del viento es causada por sistemas completamente desarrollados (tormentas extratropicales), lo que resulta en viento a gran escala estacionario, con velocidades aumentando gradualmente con la altura. Sin embargo, algunos colapsos, asociados principalmente a la acción del viento, son comunes para este tipo de solución estructural. [5]

El presente trabajo expone una continuación de los estudios referidos a las torres metálicas empleadas en sistemas de transmisión de energía eléctrica, efectuados en el Laboratorio de Aerodinámica de la UNNE, en los que se determinara la fuerza de arrastre ejercida por acción del viento de acuerdo a distintos reglamentos y mediante ensayos sobre modelos efectuados en túnel de viento [6]. Para profundizar el conocimiento del comportamiento de estas estructuras se efectúa un análisis estructural de la misma mediante la utilización de un software de elementos finitos, considerando un modelo tridimensional de reticulado espacial de una torre de suspensión ampliamente utilizada en sistemas de transmisión de 132 KV. Se evalúan varias hipótesis de carga, determinando los elementos más solicitados en cada tramo, la frecuencia natural y los primeros modos de vibración de la torre aislada.

Palabras Claves: Viento; Torres reticuladas; estructuras de acero; modelado computacional



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

Las torres reticuladas de acero son soluciones estructurales ampliamente utilizadas tanto en sistemas de transmisión de energía o como soporte de antenas de telecomunicaciones. Al tratarse de estructuras esbeltas y livianas; y no ocurrir terremotos en nuestra zona, es la acción del viento la principal sollicitación a considerar en la etapa de dimensionamiento. Sin embargo, a pesar de la vasta experiencia adquirida por los proyectistas de este tipo de elemento, de la extensa bibliografía respecto de la determinación de cargas provocadas por el viento sobre estas estructuras [1-3] y aun habiéndose aplicado las normas vigentes, no es extraña la ocurrencia de colapsos, como por ejemplo el accidente de noviembre de 2004 cuando una fuerte tormenta derriba 2 Retenciones y 15 Suspensiones (metálicas) de una línea de alta tensión (LAT 132 kV Paso de Los Libres – La Cruz) [4].

Las redes de transmisión de energía eléctrica, al igual que otras estructuras, están expuestas a tormentas severas de diversas características tales como los tornados y corrientes de aire descendentes. Sin embargo, debido a sus grandes extensiones, la probabilidad de ser impactadas por tormentas severas de corta duración y de pequeña área de afectación es mayor. Lo expuesto nos lleva a señalar que uno de los problemas que enfrentan los diseñadores radica en la dificultad de estimación de las cargas de viento, ya que se basan en un enfoque probabilístico. Una adecuada valoración de las mencionadas cargas, dependerá del tipo de tormenta que actúa, de las características del entorno de la línea, de la geometría de la torre y las propiedades dinámicas de la misma [1]. Sin embargo en el presente trabajo sólo se aplicará la normativa de viento de aplicación en nuestro país, sin profundizar en las diferentes metodologías necesarias para el caso de tormentas severas.

Los cálculos estructurales normalmente se obtienen de un análisis elástico lineal donde se supone que los miembros van a ser cargados axialmente. Cabe aclarar que si bien en las condiciones de cargas de una torre soporte de una línea de transmisión de energía eléctrica, los efectos asociados a los cables conductores y de guardia son apreciables, y un estudio integral de los estados de carga de estas estructuras debería siempre tenerlos en cuenta; el análisis que se realiza en este trabajo se valida en el procedimiento de cálculo desarrollado por los reglamentos, que consideran a la torre desvinculada de los cables, al calcular las cargas de viento sobre la torre y los cables de forma independiente, componiendo estas acciones al final del proceso para obtener la carga total. Esto permite comparar los resultados parciales referidos sólo a la torre evitando así incorporar en este análisis otros efectos más complejos como son los de inestabilidad dinámica que pueden asociarse a los cables [5].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Otra dificultad radica en el correcto modelado de la torre, ya que en la práctica, los factores tales como errores de fabricación, detalle de las juntas inadecuadas y la variación de las propiedades del material son difíciles de cuantificar.

En este trabajo se exponen algunas de estas cuestiones, presentando un modelo de una torre de suspensión en un programa comercial de elementos finitos (MEF) que considera los miembros como elementos espaciales, el peso propio de los elementos estructurales y tensiones mecánicas de los mismos, y que no incluye la contribución a la rigidez lateral que podrían aportar los cables.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

El análisis a efectuar considera la torre ensayada en el túnel de viento Jacek Gorecki de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, por Amuchástegui [5], cuyas dimensiones y geometría se indican en Tabla 1 y Figura 1 respectivamente, y que corresponde a una torre de suspensión de una línea de alta tensión (LAT 132 kV) que conecta las localidades Ituzaingó e Itá Ibaté en la provincia de Corrientes.

Tabla 1. Dimensiones de la Torre de Suspensión de "LAT 132 kV Ituzaingó-Itá Ibaté" [9]

		Tramo Inferior		Tramo Medio		Cabezal		
		Cuadro Inferior	Cuadro Superior	Cuadro Inferior	Cuadro Superior	Cuerpo	Ménsulas	Puntín
Forma		pirámide truncada de sección rectangular		pirámide truncada de sección rectangular		sección cuadrada constante		
Dimensiones	Cara perpendicular	3,2m	2,0m	2,0m	0,6m	0,6m	2,5m	0,6m
	Cara paralela	2,4m	1,5m	1,5m	0,6m	0,6m	0,6m	0,6m
	Altura	9,7m		12,1m		4,5m	0,75m	1,6m
	Montantes	Perfiles Ángulo de 75x75x5 mm		Perfiles Ángulo de 65x65x5 mm		Perfiles Ángulo de 50x50x3 mm	Perfiles Ángulo de 50x50x3 mm	Perfiles Ángulo de 45x45x3 mm
Arriostramiento		Simétrico con Perfiles Ángulo de 45x45x3		Alternado con Perfiles Ángulo de 45x45x3		Alternado con Perfiles Ángulo de 45x45x3	Alternado con Perfiles Ángulo de 40x40x3	--

Este tipo de estructura está constituida por perfiles angulares de acero, cuyos miembros se unen entre sí por medio de tornillos y placas de conexión. Los elementos fueron diseñados utilizando acero A36 ($\sigma_F=2530 \text{ Kg/cm}^2$) para perfiles menores a L65 y ASTM A 572 Gr 50 ($\sigma_F=3520 \text{ Kg/cm}^2$) para perfilera mayor o igual a L65.

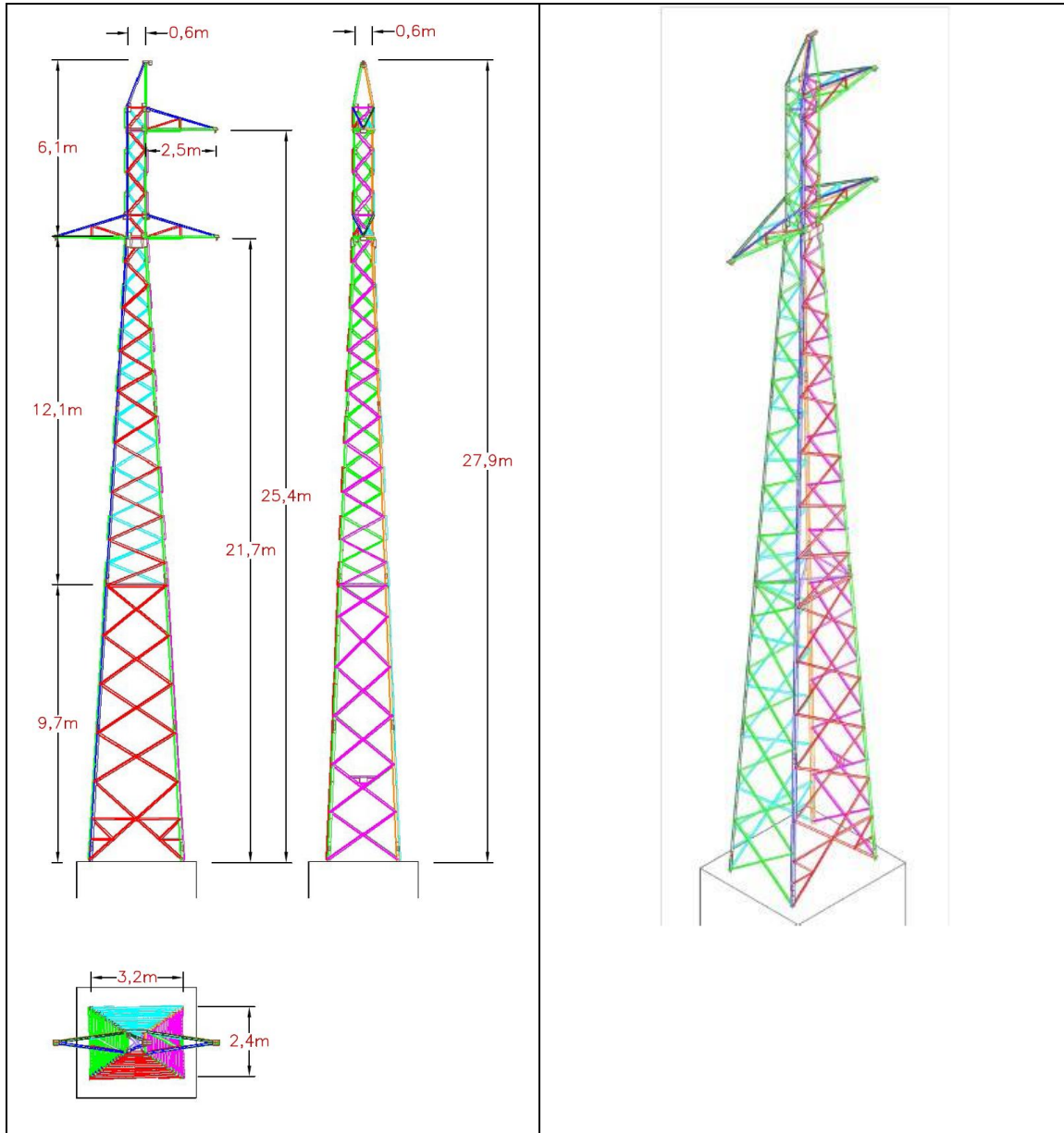


Figura 1: Torre de Suspensión de "LAT 132 kV Ituzaingó-Itá Ibaté" [9]

3. MODELADO DE LA TORRE DE TRANSMISIÓN

Son varios los investigadores que pusieron de relieve las dificultades del modelado de las torres de celosía [7]. Los métodos típicos utilizados son: (i) modelo de celosía donde todos sus miembros están representados por elementos barra, (ii) los modelos de viga, donde todos sus miembros están representados por elementos de viga con liberación final sólo para los miembros conectados con un perno, y (iii) los modelos híbridos donde los miembros continuos tales como miembros de pata o montantes se modelan como vigas, y las diagonales se



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

modelan como elementos barra, incluso si están conectados con más de un perno. Existen también modelos avanzados no lineales, los que se pueden usar para tener en cuenta el comportamiento no lineal de conexiones, pero estos modelos son por lo general demasiado complejos para aplicaciones prácticas [8]

En el presente trabajo se ha considerado que las barras de la torre, excepto las diagonales, trabajan principalmente a flexión, axil y cortante; mientras que las diagonales sólo soportan esfuerzos axiales dada su configuración geométrica dentro de la torre y por el tipo de unión entre perfiles; siendo su finalidad limitar las deformaciones máximas y conseguir longitudes de pandeo apropiadas. Se optó por este modelo híbrido ya que analizando en primer lugar las cargas generadas por el peso propio de la estructura actuando sobre las barras antes de transferirlas a los nodos, se puede apreciar que aparecen esfuerzos de cizallamiento y momentos flectores en las mismas.

Por tratarse de un reticulado espacial, cada nodo posee seis grados de libertad, asociados con rotaciones y traslaciones en relación a los ejes ortogonales. La discretización realizada supone un elemento finito para cada barra de la torre, lo cual produce resultados bastante cercanos a la realidad, resultando en un modelo que posee 196 nodos y 329 elementos; y está conformada por un tramo inferior, un tramo medio, ambos de forma tronco piramidal truncada de sección rectangular, y un cabezal de sección cuadrada constante (Tabla 1).

Las condiciones de apoyo de la estructura, considerándola rotulada como es práctica usual, se definen mediante la restricción de los desplazamientos de translación asociadas a tres direcciones globales, "X", "Y" y "Z". Esta restricción se hace en los desplazamientos de los nodos de la base de la torre [9].

Para el cálculo de la torre se consideran las cargas permanentes y las cargas por acción del viento actuando en distintas direcciones. Las cargas permanentes en este trabajo sólo incluyen el peso propio de la estructura, sin considerar el peso de otros elementos como por ejemplo las cadenas de aisladores.

4. ANÁLISIS MODAL

Definida la geometría, los elementos y las restricciones de los apoyos, se procede a efectuar el análisis modal de la torre, el que refleja las características dinámicas de la estructura, relacionadas con su geometría y su forma.

Este análisis consiste en el cálculo del período, frecuencias y los modos de vibración libres no amortiguados de la estructura. Estando la vibración libre determinada solamente por la rigidez de la estructura y sus masas, no por las cargas.



El tipo de análisis modal realizado por el programa utilizado es el análisis de valores propios. En este proceso debe resolverse la siguiente ecuación:

$$[\mathbf{K} - \mathbf{T}^2 \mathbf{M}] \mathbf{Z} = \mathbf{0} \quad (1)$$

Donde K es la matriz de rigidez, T es la matriz diagonal de valores propios, M es la matriz de masas diagonal y Z es la matriz correspondiente de vectores propios.

En el análisis efectuado se obtuvieron los 10 primeros modos de vibración presentándose en la Tabla 2 algunos valores. Esta estructura posee un periodo fundamental (1º periodo) de 0.294 segundos y una frecuencia natural de 3,40 Hz.

Tabla 2 – Resultados del Análisis modal

Modo	T (s)	F (Hz)	ω (rad/s)	Descripción
1	0.294	3.40	21.37	Primer modo a Flexión
2	0.0812	12.31	77.37	Segundo modo a Flexión
3	0.0429	23.29	146.38	Tercer modo a torsión

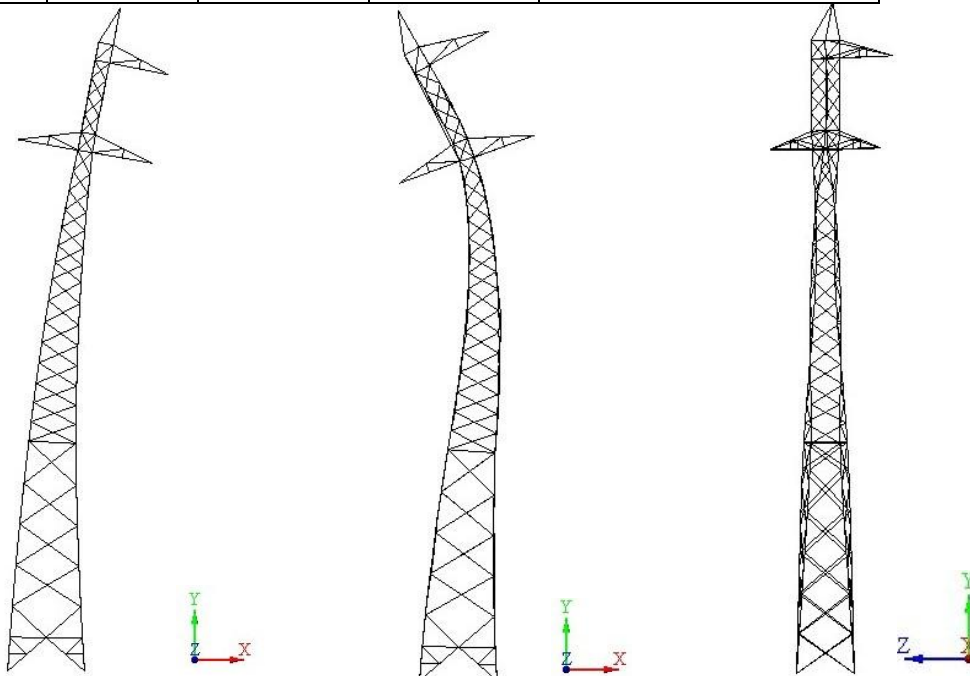


Figura 2: Primeros modos de vibración de la estructura de suspensión

En la Figura 2 se muestran tres de las configuraciones modales esquemáticas de la torre de suspensión analizada con fines ilustrativos.

5. ANÁLISIS ESTÁTICO



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

El modelo simplificado considera la torre aislada y sobre ella se aplican las fuerzas de viento actuantes sobre los elementos de la misma; efectuándose un análisis lineal pues sus desplazamientos son pequeños.

Las distintas normas existentes establecen para la determinación de los efectos del viento sobre las estructuras una velocidad básica del viento (caracterizada por su "intervalo de tiempo", "Altura sobre el terreno", "tipo de terreno" y "período de recurrencia").

El primer problema que surge en la práctica radica en la determinación de la fuerza a partir del perfil vertical de presiones dinámicas. Para determinar el efecto del viento en torres con celosía, ésta se divide en paneles de altura h , el cual se toma entre la intersección del elemento principal y las diagonales. La fuerza global del viento se obtiene por la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre las distintas partes de la estructura.

En el caso de torres metálicas reticuladas tanto las fuerzas como el momento de volcamiento se obtendrán considerándose un perfil continuo como si el área fuese llena y luego se efectuaran correcciones en función de la relación ϵ , también conocida como índice de área expuesta. Involucrando el mismo la relación del área sólida (área sin los huecos) al área total (incluidos los huecos) de una cara de la torre para el segmento en consideración.

En el presente trabajo se calcularán las acciones del viento se empleando la Norma argentina CIRSOC 102: "Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones" [10]. Efectuándose un análisis estático que considere las acciones gravitatorias (peso propio: CM) y la acción del viento en 3 direcciones: Viento actuante en dirección Normal a la cara perpendicular a la línea (VN); Viento actuante en dirección Normal a la cara paralela a la línea (VNP) y Viento actuante en dirección diagonal a la estructura (V45), como así también las siguientes combinaciones de carga $C_1 = 1.2 \text{ CM} + \text{VN}$; $C_2 = 1.2 \text{ CM} + \text{V45}$ y $C_3 = 1.2 \text{ CM} + \text{VNP}$.

Una vez determinado dónde se implantará la torre, es posible establecer la velocidad básica del viento V_0 , y precisada también la geometría de la estructura, calcular las presiones dinámicas a lo largo de la misma a partir del perfil del viento; posteriormente se pueden calcular las fuerzas de arrastre resultantes para cada módulo de la torre, determinando su distribución y puntos de aplicación. Obteniéndose entonces las cargas nodales para finalmente resolver la estructura (hallando desplazamientos, reacciones de apoyo y acciones en los miembros).

Para efectuar el proceso indicado, la mencionada norma presenta un gráfico de isocletas de la velocidad básica del viento V_0 en el territorio nacional, con intervalos de 2 m/s. Estas corresponden a una velocidad de ráfaga de tres segundos, excedida en promedio una vez cada



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

50 años, determinada a 10 m encima del terreno, en campo abierto (categoría de exposición C) pudiendo soplar en cualquier dirección.

La fuerza del viento, expresada en Newton, se calcula mediante la expresión:

$$F = q_z \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \quad (2)$$

Donde: q_z : la presión dinámica evaluada a la altura z del baricentro del área A_f [N/m^2]; G : factor de efecto de ráfaga; C_f : Coeficiente de fuerza neta (obtenido de tablas); A_f : área sólida (descontando los huecos) proyectada normal al viento en m^2

En la determinación de la presión dinámica se emplea la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I \quad (3)$$

donde los coeficientes K_i consideran la direccionalidad del viento, el efecto topográfico sobre la velocidad del mismo y la exposición de la estructura, estando todos ellos tabulados. I es el factor de importancia de la estructura en análisis que tiene en cuenta el grado de riesgo para la vida humana y daños a la propiedad. Y V es la velocidad básica del viento anteriormente definida.

Dado que del análisis modal resultó que la frecuencia natural de la torre es mayor que la unidad, la estructura es analizada como rígida empleándose según establece la normativa un factor de efecto de ráfaga de 0.85.

El coeficiente de fuerzas para torres reticuladas de sección transversal cuadrada está definido en la norma por la siguiente expresión:

$$C_f = 4.0 \varepsilon^2 - 5.9 \varepsilon + 4.0 \quad (4)$$

Siendo ε la relación del área sólida (A_f) al área total (incluidos los huecos) de una cara de la torre para el segmento en consideración.

En base a los resultados obtenidos en la resolución de la estructura, se verifica la capacidad resistente de los elementos a través de los factores de seguridad y las deformaciones admisibles.

5.1 Resultados del Análisis Estático

Como puede observarse en la Tabla 3 el desplazamiento máximo en la cima fue de 16,65 cm (nodo 148) producido por el estado de carga C_1 .



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Tabla 3: Desplazamientos en la cima de la estructura.

Nudo	Traslaciones [cm]			Rotaciones [Rad]		
	TX	TY	TZ	RX	RY	RZ
Estado C₁=1.2CM+VN						
148	0.03863	-0.03304	16.65347	0.01140	-0.00123	-0.00005
Estado C₂=1.2CM+V45						
148	9.53822	-0.24216	14.98765	0.00993	-0.00141	-0.00694
Estado C₃=1.2CM+VNP						
148	8.16264	-0.21335	-0.02853	-0.00004	-0.00007	-0.00608

Analizando la relación de esfuerzos de los elementos según la función estructural (Figura 3) se observa que los valores más elevados se presentan en los montantes en distintos tramos. (Por cuestiones de espacio se representa solamente el estado C2). En tanto que los valores axiales máximos verificados en los montantes ante la acción del viento en dirección diagonal a la estructura se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 – Esfuerzos axiales máximos en los Montantes en estado de cargas C2

Tramo	Elemento	Longitud de la barra	Esfuerzo Axial Máximo [Kg]	Esfuerzo Axial Mínimo [Kg]
Inferior	381	1.3 m	-14175	-14757 Kg
Medio	272	0.8 m	-9163	-9167
Cabezal	347	0.75 m	-2015	-2013

Las reacciones de apoyo alcanzaron sus valores máximos para incidencia del viento diagonal siendo sus valores los indicados en Tabla 5.

Tabla 5: Reacciones en los apoyos

Nudo	Fuerzas [Kg]			Momentos [Kg*cm]		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Estado C₁=1.2CM+VN						
5	-724.31	-8806.67	-855.80	0.00	0.00	0.00
2	-788.27	9380.871	-852.46	0.00	0.00	0.00
6	701.489	-8604.23	-807.66	0.00	0.00	0.00
1	811.107	9554.129	-861.07	0.00	0.00	0.00
Estado C₂=1.2CM+V45						
5	-1536.78	-15071.95	-1149.04	0.00	0.00	0.00
2	-1584.32	15628.51	-1220.19	0.00	0.00	0.00
6	-164.46	-1891.91	-460.51	0.00	0.00	0.00
1	-35.42	2859.44	-525.24	0.00	0.00	0.00
Estado C₃=1.2CM+VNP						
5	-556.80	-4765.87	-247.98	0.00	0.00	0.00
2	-622.54	5455.39	-293.57	0.00	0.00	0.00
6	-630.58	5530.62	299.49	0.00	0.00	0.00
1	-549.06	-4696.04	242.06	0.00	0.00	0.00



IV CAIM 2014

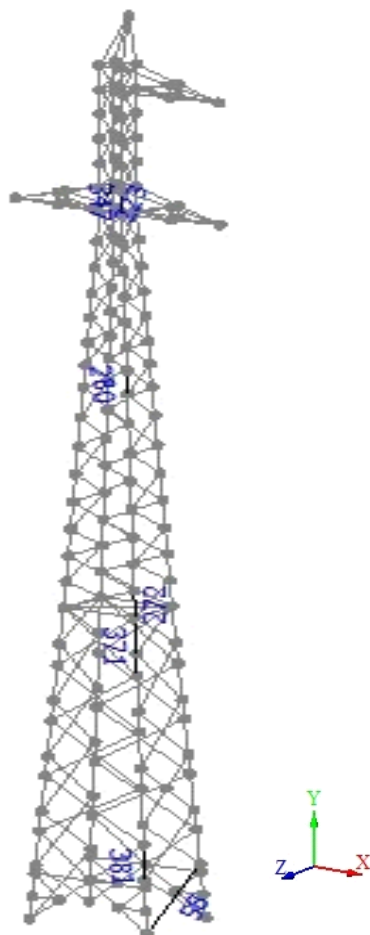
Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Miembro	Sección	Descripción	Ratio
381	Lcm 75x75x7.9	M1	0.98
223	Lcm 45X45X3	D3	0.20
58	Lcm 40x40x3	D1	0.69
371	Lcm 75x75x7.9	M1	0.90
280	Lcm 60x60x4	M2	0.90
272	Lcm 65x65x5	M2	0.97
347	Lcm 50x50x3	M3	0.62

Figura 3: Máximas Relaciones de esfuerzo por tramos (según la función del elemento)

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó un modelo numérico de una estructura reticulada característica de sistemas de transmisión de energía en nuestra región (Torre de suspensión). Efectuándose el modelado combinando elementos tridimensionales (vigas) y elementos bidimensionales (barras). Se estudió la misma considerándola aislada y ante la acción de su peso propio y del efecto del viento actuante en tres direcciones distintas.

Observando los resultados indicados en el punto anterior podemos afirmar que en todos los estados de carga analizados los mayores esfuerzos de compresión se producen sobre los montantes a lo largo de toda la estructura. En cuanto a las diagonales, los mayores esfuerzos de axiales se presentaron también para el estado de carga combinado C_2 en elementos del tramo inferior siendo de -859 Kg para compresión y de 797 Kg para tracción. Los valores



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

determinados son compatibles con aquellos señalados por otros investigadores en la literatura consultada [8;10], y resultan consistentes con el aumento de sección expuesta al viento.

7. REFERENCIAS

- [1] Holmes, John D. *Wind Loading of Structures*. London and New York : Spon Press, 2001.
- [2] Ishac, Magdi F. y White, H. Brian. Effect of tornado loads on transmission lines. *Power Delivery*, IEEE Transactions on. 1995, Vol. 10, 1, págs. 445-451.
- [3] Simiu, Emil y Scanlan, Robert. *Wind Effects On Structures*. Third Edition. New York : John Wiley and Sons, 1996.
- [4]. Serrani, Héctor R. Cronología de tormentas severas sobre líneas de energía eléctrica en la Provincia de Corrientes 1993-2003. Dción Prov. de Energía de Corrientes. No Publicado.
- [5] Amuchástegui, Martín N.: “Análisis de procedimientos de reglamentos y/o normas vigentes y comparación con coeficientes de cargas obtenidos en ensayos sobre modelos reducidos de torres de transmisión de energía eléctrica en túnel de viento”. Tesis Maestría – UNNE- 2010.-
- [6]. De Bórtoli, Mario E; Marighetti, Jorge O., Udrizar Lezcano, Ma. Sandra: “Strong Atmospheric Wind Over Electric Transmission Tower Approaching”. *International Seminar on Modeling and Identification of Structures Subjected to Dynamic Excitation. Emphasis to Transmission Lines*. Bento Gonçalves- Brasil – 2009.-
- [7] J.G.S. da Silva, P.C.G. da S. Vellasco, S.A.L. de Andrade, M.I.R. de Oliveira “Structural assessment of current steel design models for transmission and telecommunication towers”. *Journal of Constructional Steel Research* 61 -1108–1134, 2005.
- [8] Taillon J.-Yves, Frédéric Légeron , Simon Prud'homme “Variation of damping and stiffness of lattice towers with load level”. *Journal of Constructional Steel Research* 71 - 111–118. 2012
- [9] CIRSOC 102: “Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones”. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles. 2005.
- [10] Tapia-Hernandez E; Sordo-Sabay E.: “Patrones de carga reglamentarios para torres de transmisión de alta tensión sujetas a viento intenso”. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 12(2) 219

ⁱ Maestrando Ing. c/ subsidio de la Universidad Nacional Del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Argentina