

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

**ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS SOPORTE Y CABLES  
CONDUCTORES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN MEDIA TENSIÓN EN LA PROVINCIA DE MISIONES<sup>1</sup>  
WIND ACTION IN SUPPORT STRUCTURES AND WIRES OF MEDIUM  
POWER TRANSMISSION LINES AT MISIONES PROVINCE**

**Camila Irina Korpys<sup>2</sup>, Luis Antonio Cerdan<sup>3</sup>, Diego Alberto García<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Proyecto de investigación realizado en FI-UNaM

<sup>2</sup> Becario de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina.  
korpyscamila@gmail.com

<sup>3</sup> Adscripto al Proyecto de Investigación. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. luiscerdan7@gmail.com

<sup>4</sup> Docente Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones. Argentina. garciadiego@fio.unam.edu.ar

### **Introducción**

Se desarrolla un procedimiento para aproximar numéricamente la acción dinámica del viento horizontal en dirección perpendicular a una línea de energía eléctrica en media tensión en la provincia de Misiones, para su utilización en el análisis estructural de sistemas de transmisión de energía. Para el análisis de la confiabilidad estructural de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, caracterizadas por su gran flexibilidad, adquiere gran importancia la incidencia de las fuerzas dinámicas generadas por la acción del viento en los conductores y estructuras de soporte. Las fuerzas resultantes de la integración de las presiones actuantes sobre las superficies en que inciden, presentan un carácter no determinístico, pues derivan de la velocidad del viento; la que puede abordarse con adecuada aproximación a través de su consideración como procesos aleatorios o estocásticos.

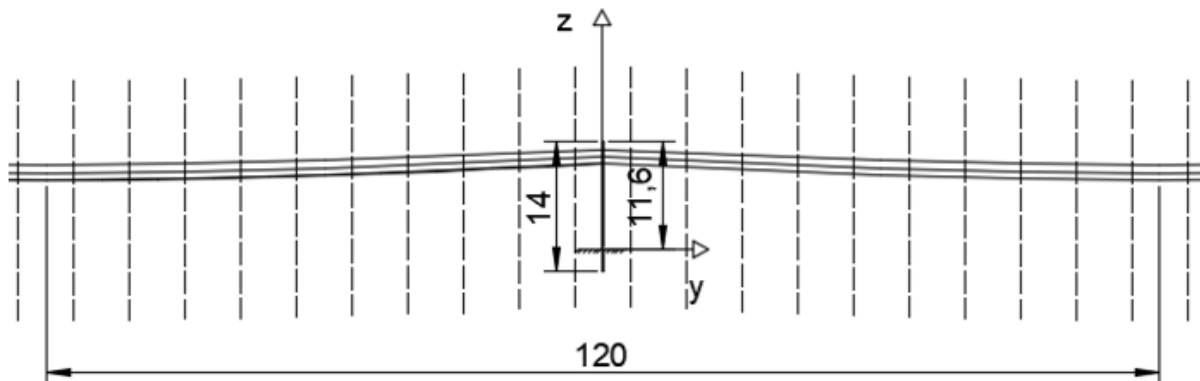
Se parte del modelo clásico de representación de la velocidad del viento como suma de un valor medio constante más una componente fluctuante originada debido a las variaciones del mismo. El método que se utilizó para simular cargas dinámicas de viento, fue el Método de Representación Espectral (SRM según sus siglas en inglés), desarrollado por Shinozuka y Jan, que permite obtener una simulación de proceso estocástico, conocidos de antemano su espectro de frecuencias y las funciones de correlación espacial. Mediante este se puede obtener la componente "fluctuante" o "turbulenta" del viento. Esto requiere como elementos de partida el espectro de frecuencias y funciones de coherencia, elegidos de acuerdo con el problema a simularse.

El equipo adaptó el procedimiento utilizado por Ballaben en su tesis de doctorado, en el cuál hallaba la carga de viento a aplicarse en el análisis de mástiles arriostrados, al modelo geométrico que se describirá más adelante.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

## Metodología

El tramo que se tomó como modelo en el análisis, posee un vano de 120m entre eje y eje de los postes (estructura soporte). Los tres cables cuentan con sección transversal de 282.5 mm<sup>2</sup> y poseen una flecha máxima de 1.76m cuya curva esta descrita por la ecuación de una catenaria. El cable superior tiene una cota máxima de 10.80m, el del medio de 10m y el inferior de 9.20m. El poste tiene una forma tronco cónica, con una longitud de 14m en total, una longitud libre de 11.6m referida al nivel de terreno y empotrado 2.4m en el suelo. El diámetro, el diámetro de la base es de 0.26m y el diámetro en la cima es de 0.14m. Para el análisis de las cargas se discretizaron los cables y el poste en 20 segmentos cada uno, y se hallaron las coordenadas de los puntos medios de estos, como se puede visualizar en la Fig. 1.



**Fig. 1. Sistema estructural analizado: estructura soporte (postes) y cables conductores.**

Luego se prosigue a realizar un análisis determinístico, siguiendo lo especificado en el Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones y en la Reglamentación de Líneas Aéreas Exteriores de media y Alta Tensión de la Asociación Electrotécnica Argentina. Según el Reglamento CIRSOC 102 se partió de la siguiente expresión para hallar la presión del viento,  $q_z$ , en la estructura de soporte y la fuerza de viento de diseño en Newton (N),  $F$ : es:

$$q_z = 0,613 \cdot k_z \cdot k_{zt} \cdot k_d \cdot V^2 \cdot I \quad (1)$$

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

Se adoptó una Exposición C, que implica obstrucciones dispersas menores a 10m, campo abierto plano y terrenos agrícolas, ya que se consideró que esta situación era la que más se asemejaba a la zona de estudio. Según el reglamento de la AEA se partió de la siguiente expresión para hallar la fuerza del viento en los conductores y cables de guardia:

$$F = Q(Z_p \cdot V)^2 \cdot F_c \cdot G \cdot C_F \cdot A \cdot \cos^2 \Psi \quad (3)$$

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Se adoptó para el cálculo que la acción del viento sobre los conductores, la clase correspondiente a zonas llanas, poco onduladas, con obstrucciones dispersas menores a 10m de altura. En base al análisis estático, se obtuvo un vector velocidad media igual a:

$$U(z) = kz \cdot V \quad (4)$$

Finalmente se procedió a realizar el análisis estocástico implementando el SRM para simular registros de viento. En primer lugar, se adoptó una función de densidad espectral  $S(z, \omega)$ , en este caso, la propuesta por Davenport reportada en Dyrbye and Hansen:

$$R_N(z, \omega) = \frac{\omega \cdot S(z, \omega)}{\sigma^2(z)} = 2/3 \cdot \frac{f_L^2}{(1 + f_L^2)^{4/3}} \quad (5)$$

en el cual  $\omega$  es el vector de la frecuencia en Hz (armado de 0 a 2.5Hz con incrementos de 0.004Hz),  $\sigma^2$  es la varianza igual a 43.53 y  $f_L$  es la frecuencia adimensional:

$$f_L = \omega \cdot \frac{L_u}{U(z)} \quad (6)$$

siendo  $L_u$  la longitud de la escala de la turbulencia (adoptada como 1200m) y  $U(z)$  la velocidad media del viento hallada con (4). La función de coherencia adoptada es:

$$Coh(\omega, y_i, y_j, z_i, z_j) = \exp\left(\frac{\omega \left[ (C_y(y_j - y_i))^2 + (C_z(z_j - z_i))^2 \right]^{1/2}}{1/2 [U(z_i) + U(z_j)]}\right) \quad (7)$$

en dónde  $y_i$  e  $y_j$  son las coordenadas a lo largo de la línea y  $z_i$  y  $z_j$  son las alturas de dos puntos dados,  $C_z=10$  y  $C_y=16$ . A continuación, cada elemento  $S_{ij}$  de la matriz  $S(\omega)$ , para un determinado valor de frecuencia puede ser calculado como:

$$S_{ij}(y_i, y_j, z_i, z_j, \omega) = \sqrt{S(z_i, \omega)S(z_j, \omega)Coh(\omega, y_i, y_j, z_i, z_j)} \quad (8)$$

Mediante este procedimiento se obtienen N matrices, una para cada uno de los valores de la frecuencia. Estas matrices deben ser transformadas en triangulares inferiores, para lo cual se usa la Transformada de Cholesky, obteniéndose N matrices  $H(\omega)$ . Luego se construyen las series temporales de la componente fluctuante (con media cero) de la velocidad del viento  $uz(z_j, t)$  para

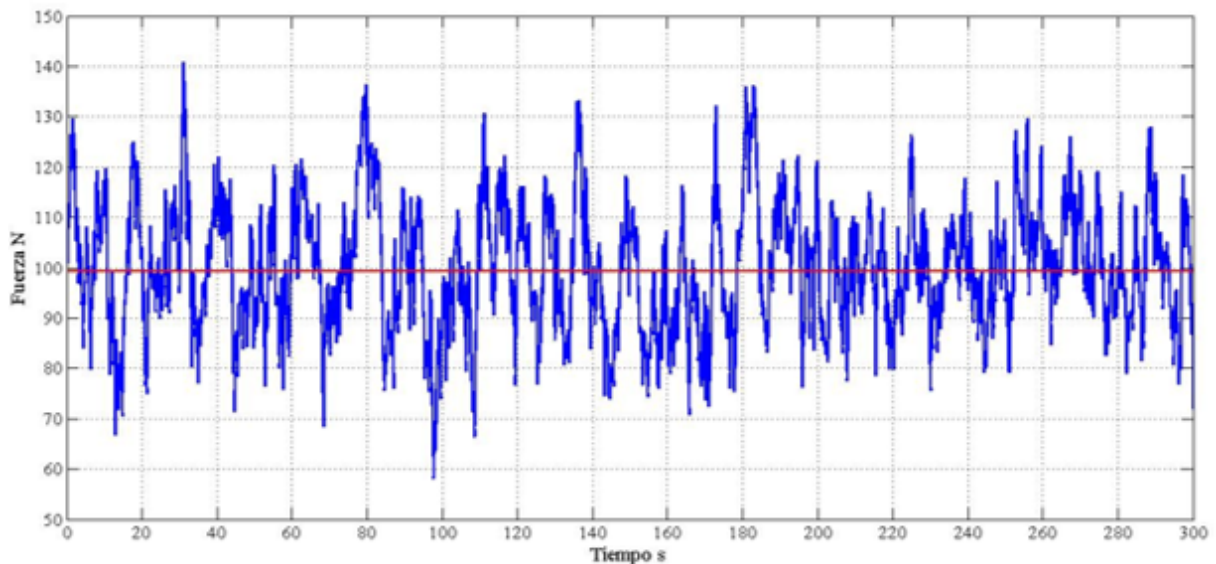
**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

cada altura  $z_j$  y como un conjunto de  $m$  procesos gaussianos estacionarios (para cada instante de tiempo) es por medio de la ecuación donde  $\omega_n$  y  $\varphi_{kn}$  son generados de forma aleatoria en el programa confeccionado en Matlab. Para finalizar, se calculó la fuerza en cada uno de los puntos en función del tiempo y la altura, usando como base a (2) y (3), determinadas por los reglamentos; pero componiendo la velocidad al cuadrado por  $kz$  ó  $Z_p$  como la multiplicación de la velocidad básica  $V$  por la componente fluctuante:

$$uz(z_j, t) = \sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^N |H_{jk}(\omega_n)| \sqrt{2\Delta\omega} \cos[\hat{\omega}_n t + \varphi_{kn}] \quad (9)$$

### Resultados y discusión

A continuación, en la Fig. 2, se muestra el registro de fuerzas en N de una carga aplicada en el centro del vano de uno de los cables para un tiempo considerado de 300 s. Esto constituye una realización del proceso estocástico para ese punto del sistema estructural. Con cada corrida del programa escrito en Matlab para hallar las fuerzas aplicadas, se obtiene una realización para un punto del sistema en el tiempo considerado. En rojo, en la misma figura, se observa el valor medio. Estos valores de fuerza están en congruencia con los reportados en otros trabajos con la misma temática. Para obtener los registros se consideró una velocidad básica del viento de 45 m/s a partir de las curvas isotacas del Reglamento CIRSOC 102 para la provincia de Misiones.



**Fig. 2. Registro de la fuerza generada por la acción del viento en la cima del poste. Registro completo y valor medio de la fuerza obtenidos en 300s de exposición.**

### Consideraciones finales

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO

Mediante la implementación del Método de Representación Espectral se puede tener una representación más real de la variabilidad de la velocidad del viento, teniendo en cuenta su componente fluctuante. Los resultados obtenidos a través de la simulación estocástica de cargas en función del tiempo para los puntos del plano que contiene al sistema estructural, serán luego utilizados para el análisis de los elementos constitutivos de la misma en forma individual y en conjunto en otros trabajos. Esto con vistas a estudiar el desempeño de este tipo de estructuras en términos de condiciones de servicio y de resistencia, con la finalidad de realizar un proceso de optimización que permita obtener soluciones técnicas-económicas que satisfagan las necesidades de suministro de energía eléctrica de la población de la provincia de Misiones.

**Palabras clave:** Acción del viento, Proceso estocástico, Estructuras para líneas de media tensión.

**Keywords:** Wind action, Stochastic process, Structures for Medium Power Lines.

#### Referencias

Ballaben J.S.: "Mástiles Arriostrados: Análisis Dinámico No Lineal y Cuantificación de Incertidumbres", Bahía Blanca, Argentina, 2016.

Dyrbye, C. and Hansen, S.: "Wind Loads On Structures", John Willey and Sons, West Sussex, England, 1 edition, 1994.

Reglamentación de Líneas Aéreas Exteriores de Media Tensión y Alta Tensión AEA 95301. Asociación Electrotécnica Argentina, Noviembre 2007.

Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones CIRSOC 102; Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI); Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles (CIRSOC), Buenos Aires; 2005.

Shinozuka, M. and Jan, C.: "Digital simulation of random processes and its applications", Journal of Sound and Vibration, 25(1):111-128, 1972.