

CALIBRACIÓN DE MODELOS DE LINEAS DE TRANSMISION ELÉCTRICA PARA SU APLICACIÓN EN PROCESOS DE OPTIMIZACION¹

Bakaleiko Mauro Damian², Aguirre Miguel Angel ³, Detke Fernando Rubén⁴;

¹ Trabajo de Investigación, Proyecto Código 16/I106

² Integrante de Proyecto, becario CIN (Resolución N°259/14), maurobakaleiko@gmail.com

³ Investigador del Proyecto, Ingeniero Civil, ing.amangel@fio.unam.edu.ar

⁴ Codirector de Proyecto, Departamento de Ing. Civil, detke@fio.unam.edu.ar

Resumen

Los modelos estructurales presentados en este trabajo, que serán utilizados en un proceso de optimización, corresponden a sistemas de transmisión de energía eléctrica (132KV) usuales en la Provincia de Misiones, sometidos principalmente a la acción dinámica del viento tratado como proceso estocástico, que originan fallas e interrupción del servicio eléctrico a gran cantidad de personas e instalaciones productivas.

Se estudia la interacción dinámica entre los distintos componentes estructurales, con el objetivo de calibrar parámetros que permitan reducir el excesivo tiempo computacional que demanda el análisis estructural, adoptando un modelo desacoplado que consiste en analizar primero el cable y cadena de aisladores con extremos fijos, y luego en una segunda etapa analizar el poste y fundación con la reacción dinámica obtenida en la primera instancia; para luego comparar las respuestas con las de un modelo completo. Posteriormente el resultado del comportamiento del modelo calibrado se aplicará a un proceso de optimización estructural, ajustando variables aleatorias que minimicen una función objetivo (costo total del sistema estructural).

Palabras Clave: *Modelos estructurales - Análisis dinámico no lineal - Optimización*

Introducción

Atendiendo a que no se han encontrado estudios relevantes del sistema estructural analizado, en una primera etapa se abordó la modelación digital en el software de elementos finitos SAP 2000 de un modelo denominado “Modelo 1” (Detke et al., 2010 y 2011), constituido por un poste de hormigón armado y pretensado, base de hormigón simple y suelo de fundación que constituyen el modelo computacional aplicando las acciones del viento y peso propio reducidas a la cima del poste.

El objetivo de este trabajo es incorporar y calibrar elementos que ajusten el comportamiento de los modelos teniendo en cuenta la continuidad e interacción dinámica entre los distintos elementos que componen el sistema estructural.

Metodología

El sistema estructural en estudio está constituido por dos vanos consecutivos, delimitados por tres soportes en suspensión simple (cada uno compuesto por: postes de hormigón pretensado, crucetas y ménsulas de hormigón armado), tres conductores de fase con sus correspondientes cadenas de aisladores y un cable de protección contra descargas atmosféricas (cable de guardia), sustentados en fundaciones directas por monobloques de hormigón simple, que transmiten sus esfuerzos al suelo de fundación (suelo colorado). Ver figura 1.



Figura 1: Línea de 132kV. Aristóbulo del Valle, Provincia de Misiones, Argentina.

Con el objetivo de encontrar un modelo que contemple mejor las interacciones dinámicas entre los distintos componentes estructurales del sistema y con un tiempo computacional aceptable, se presentan a modo comparativo dos modelos computacionales analizados con el software SAP 2000 a los que se denominan “Modelo desacoplado” (Modelo 2) y “Modelo completo” (Modelo 3). Los ajustes realizados en los componentes del sistema se presentan a continuación:

Mecanismo de continuidad estructural

Dado el excesivo tiempo de procesamiento y la complejidad que representa la simulación de varios vanos, se procedió a implementar resortes (Desai et al., 1995) que representen tanto a los conductores contiguos como a la cadena de aisladores y las variantes pertinentes que simulen la continuidad del sistema (Ribeiro de Oliveira, 2006).

Luego de haber comparado las respuestas de tres modelos posibles se llega a que los modelos con resortes del tipo “Link/Support” se ajustan mejor sin embargo en los extremos se presentan reacciones elevadas. Los modelos con resortes del tipo “Springs” presentan un mayor desvío, pero siguen la forma de las curvas de referencia, además de presentar valores de reacciones muy cercanos a los analíticos en los apoyos extremos.

Cables conductores e hilo de guardia

El comportamiento dinámico de cables se analizó detalladamente por Pizzutti et al. (2013), sin embargo posteriormente se realizaron ajustes en algunos parámetros intervinientes con el fin de aproximarse más a la realidad y reducir el tiempo de procesamiento.

Uno de ellos corresponde a la flecha de los conductores e hilo de guardia, pues se determinaron las flechas definitivas, implementados en los Modelos 2 y 3, respetando las distancias de seguridad establecidas por el Reglamento para la Ejecución de Líneas Aéreas Exteriores de Media y Alta Tensión de la Asociación Electrotécnica Argentina (2003). De esta forma, resulta una flecha de 7.00 m para todos los conductores y de 6.10 m para el hilo de guardia en el estado básico (temperatura igual a 20 °C y velocidad del viento igual a cero). Otro parámetro ajustado fue el amortiguamiento, el cual se consideró a través de la matriz de Rayleigh utilizando los dos primeros períodos que desplazan un mayor porcentaje de masa modal participante en la dirección “y” (paralela a la componente longitudinal del viento) y la relación de amortiguamiento igual a 5% dado que estas líneas eléctricas no cuentan con amortiguadores de vibraciones (Gattulli et al., 2006).

Por otro lado, cabe mencionar que todos los casos de carga (Peso Propio y Cargas Dinámicas del Viento) se ejecutaron con un análisis del tipo no lineal y de segundo orden.

A partir de estas consideraciones se realizaron 3 modelos de cables con distinta cantidad de segmentos (10, 15 y 20), a los cuales se aplicaron cargas distribuidas y puntuales con el objetivo de analizar el comportamiento y los tiempos computacionales de ejecución.

Modelo desacoplado

Una vez verificada la consistencia de los distintos componentes del sistema estructural se procedió a evaluar las respuestas con SAP 2000, en forma separada, por un lado los cables con sus cadenas de aisladores e hilo de guardia, y por otro el poste con sus accesorios (ménsulas y crucetas), base aislada de hormigón simple y terreno de fundación, tal como se muestra en el “**Modelo 2**” de la Figura 2.

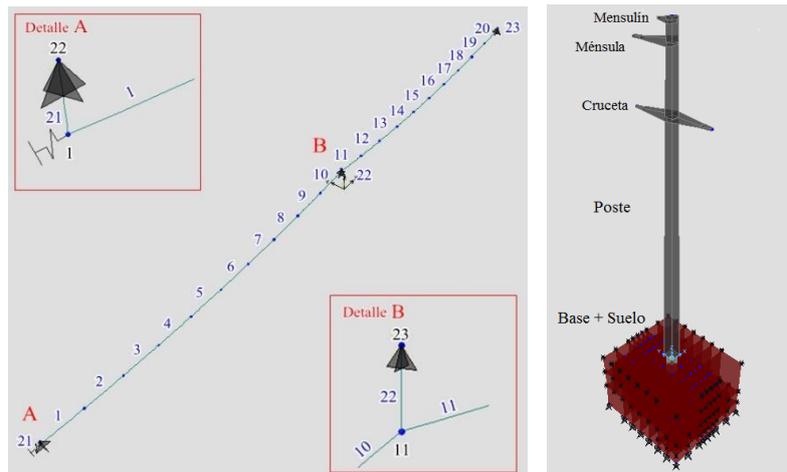


Figura 2: Modelo 2.

Luego de realizar el análisis estructural, en forma separada, de los tres conductores e hilo de guardia con el software SAP 2000, se extraen las funciones temporales de las reacciones en el vínculo central (punto “B” de la figura 2) en las tres direcciones de los ejes globales. Estas componentes son aplicadas posteriormente como acciones en las secciones extremas de ménsulas y crucetas del conjunto poste-base-suelo representado en la Figura 2.

Modelo completo



Figura 3: Modelo 3.

Con el fin de evaluar la precisión de los resultados y los tiempos computacionales, se ensamblan los cables con sus cadenas de aisladores e hilo de guardia a los extremos de crucetas y ménsulas del conjunto poste-base-suelo, quedando constituido el “**Modelo 3**” mostrado en la Figura 3. Con este modelo completo se realiza el análisis estructural

utilizando el programa SAP 2000. El amortiguamiento del sistema completo se consideró a través de la matriz de Rayleigh, de la misma forma que para los cables, pero con una relación de 4%.

Resultados y Discusión

Atendiendo a que las respuestas del sistema estructural estudiado serán utilizadas en un posterior proceso de optimización con restricciones de confiabilidad (proceso ya realizado para el Modelo 1), y que para lograr ese objetivo, se deben efectuar aproximadamente 2500 análisis estructurales para distintos conjuntos de variables aleatorias del sistema; es importante crear un modelo estructural que presente una adecuada respuesta, pero con razonables tiempos de procesamientos computacionales.

En la Figura 4 se muestran los desplazamientos de la cima del poste en función del tiempo de duración de la acción dinámica del viento en la dirección de éste, para tres combinaciones distintas de variables aleatorias, indicando en cada caso la velocidad de diseño del viento.

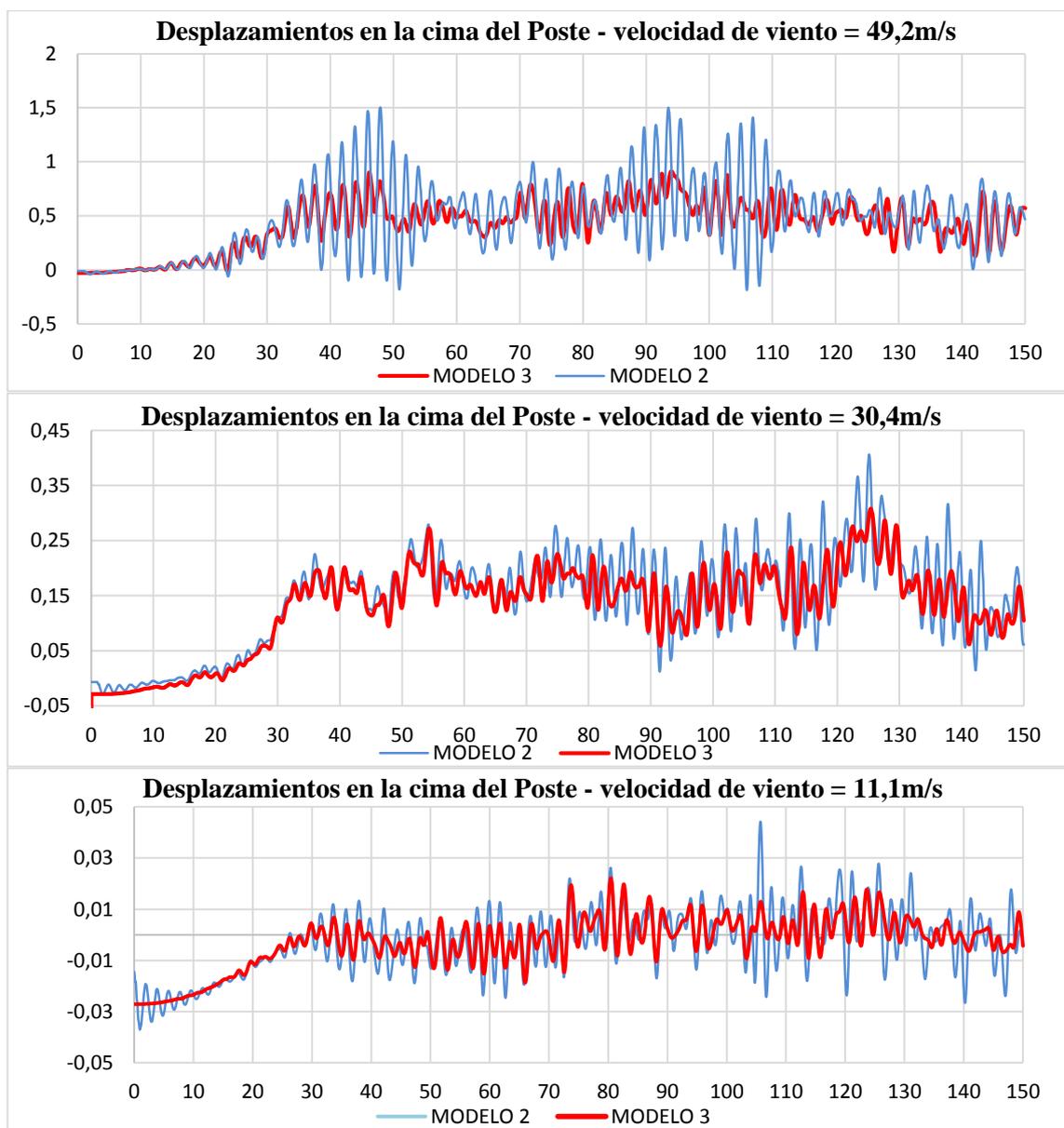


Figura 4: Desplazamientos de la cima del poste en la dirección del viento.

Las diferencias entre los resultados del Modelo 2 y del Modelo 3 están indicando que el acoplamiento de la cadena de aisladores con el poste flexible reduce los picos de fuerzas dinámicas que se transmiten al poste y fundación, con una tendencia general similar. Cabe aclarar que los tiempos de procesamientos computacionales para el Modelo 3 resultan cinco veces mayores que la suma de los tiempos demandados por cada uno de los elementos estructurales del Modelo 2.

Conclusiones

- Para simular la continuidad con tramos de línea adyacente a los vamos analizados, la modelización con elementos tipo resorte (Spring) ofrece el mejor comportamiento.
- Cabe destacar que el modelo de cables adoptado es el correspondiente a 10 segmentos por tramo con cargas distribuidas, brindando resultados y tiempos computacionales aceptables.
- Considerando al Modelo 3 como el más aproximado a la realidad, los resultados del Modelo 2 muestran una tendencia general y magnitudes medias muy similares, con mayores valores picos debido al vínculo fijo en el extremo de las cadenas de aisladores, frente al vínculo flexible del poste en el Modelo 3.
- Como los tiempos de procesamiento computacional son bastante mayores para el Modelo 3 totalmente acoplado, se estima que el Modelo 2 ofrece un mejor balance entre precisión y simplicidad adoptando éste como mejor alternativa para el proceso de optimización.

Referencias

- Asociación Electrotécnica Argentina (AEA): *Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media tensión y alta tensión. AEA 95301*. Buenos Aires, 2003.
- Desai, Y. M., Yu, P., Popplewell, N., Shah, A. H.: *Finite element modelling of transmission line galloping*. Computers & Structures Vol. 57, No. 3, págs. 407-420. Great Britain, 1995.
- Detke F. R., Reinert H. O., Duarte J. A., Klimczuk C. M., Fank P. Y., Möller O.: *Modelo estructural de sistemas de transmisión de energía eléctrica en la Provincia de Misiones, Argentina*. I Jornadas Regionales de Investigación en Ingeniería - UTN FRRe. Resistencia, 2010.
- Gattulli, V., Martinelli, L., Perotti, F., Vestroni, F.: *Dynamics of suspended cables under turbulence loading: Reduced models of wind field and mechanical system*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95 (2007), págs. 183–207. Italy, 2006.
- Ribeiro de Oliveira, M. I. : *Análise estrutural de torres de transmissão de energia submetidas aos efeitos dinâmicos induzidos pelo vento*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.