



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

SIMULACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL: APLICACIONES A SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA PROVINCIA DE MISIONES, ARGENTINA¹

Javier Alberto Duarte², Fernando R. Detke³, Hugo O. Reinert⁴, Horacio D. Pizzutti⁴, José L. Golemba⁴, Oscar Möller⁵.

¹ Publicación correspondiente a Proyecto de Investigación realizado en el departamento de ingeniería civil de la facultad de ingeniería de la universidad nacional de misiones, Argentina.

² Departamento de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina. jaduarte66ar@yahoo.com.ar

³ Departamento de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina, detke@fiobera.unam.edu.ar

⁴ Departamento de Ingeniería civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina

⁵ Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras (IMAE), Universidad Nacional de Rosario, Riobamba y Berutti, 2000 Rosario, Argentina, moller@fceia.unr.edu.ar

Resumen. Se presenta en este trabajo un modelo estructural para representar, numéricamente, el comportamiento de un sistema de transmisión de energía eléctrica. Dicho sistema de suspensión de líneas es modelado mediante elementos finitos, mientras que los conductores, cable de guardia, cadenas de aisladores, crucetas y ménsulas son considerados como cargas. El poste de hormigón pretensado es representado por elementos barra, con un resorte rotacional no lineal, en la unión con su fundación, para considerar el comportamiento no lineal físico, que pueda ocurrir en esa zona del mismo. La fundación y el suelo circundante se modelan con elementos-sólido, teniendo en cuenta la interacción suelo-estructura, para aproximar así los reales desplazamientos del conjunto. Las acciones son: la carga estática gravitatoria permanente y la acción dinámica del viento horizontal considerada como un proceso estocástico. Como aplicación numérica, se muestran parámetros de respuesta de un sistema formado por dos vanos de 250 metros de longitud, representativo de un sistema con desarrollo lineal sobre el terreno, de topografía plana y rugosidad compatible con ambientes rurales, para una línea de transmisión de energía eléctrica de 132kV, considerando datos de velocidad de viento para la Provincia de Misiones, Argentina.

Palabras clave: Energía eléctrica, Hormigón pretensado, Acción del viento.

Introducción

En el análisis de sistemas estructurales de transmisión de energía eléctrica, tiene importancia fundamental la incidencia de las fuerzas dinámicas, generadas por la acción del viento en conductores eléctricos, cables de guardia, aisladores y estructura soporte. Dichas fuerzas son trasladadas al suelo de fundación si el sistema responde adecuadamente en términos de desplazamientos y esfuerzos internos. El modelo estructural aquí tratado





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

representa numéricamente el comportamiento bajo la acción aleatoria del viento, de la fracción de un sistema de líneas de transmisión con nivel de tensión nominal de 132kV, Clase C-1, modalidad característica en los proyectos implementados en la Provincia de Misiones. El objetivo de este trabajo, además de validar un modelo numérico que permitirá recopilar en forma eficaz, resultados de comportamiento estructural que puedan ser útiles en la elaboración de diversas herramientas de diseño probabilístico, es establecer comparaciones entre los parámetros de resistencia flexión propios del sistema, respecto de los valores envolventes de sollicitación que arrojen la resolución del problema. Con esta técnica de evaluación estructural se podrá detectar en un estudio posterior qué variables son más importantes y poder generar funciones de costo del sistema estructural, que permitan optimizar el uso de los recursos y la seguridad de los mismos. Los estados límites adoptados para el análisis, en este sistema estructural son dos: falla por agotamiento mecánico en el poste y falla por giro de la fundación al superarse los valores de capacidad portante del suelo. De la definición de estos estados límites surgen los parámetros de respuesta estructural, seleccionados para el análisis: el desplazamiento máximo en el extremo superior del poste (cima), el esfuerzo de flexión en la unión del poste con su fundación, el giro relativo del poste medido en el resorte no lineal (rotula plástica), la rotación de la base, medida desde una de sus caras, y la deformación específica del suelo en contacto con la fundación.

Metodología

Los componentes del sistema estructural estudiado, se dividen en dos grupos:

- a) Elementos simulados como acción externa. Para cuantificar la acción del viento se utilizan distintas hipótesis dependiendo del elemento considerado. Así, para el caso del poste, se obtiene una carga que representa al diagrama de presiones exponencial. Esta acción dinámica aplicada sobre el modelo se reduce a una carga puntual, dependiente del tiempo, ubicada en la cima del poste. Esta carga produce el mismo esfuerzo instantáneo de flexión en el pie del poste que la acción distribuidas en todo el modelo. Para los cables, el frente de ráfagas se discretiza en bandas o fajas de 50m de ancho, considerando la correlación espacial y temporal en la dirección transversal y las distintas alturas medias de cada tramo de cable. Los registros de viento son simulados numéricamente mediante rutinas en lenguaje FORTRAN, a un intervalo de duración total de 300 segundos, considerando una componente de turbulencia afectada a la velocidad media.
- b) Elementos del modelo computacional, la composición y desarrollo de la solución al problema abordado del modelo estructural, caracterizado anteriormente, se realiza a partir de la modelación digital, que resuelve el problema por el método de los elementos finitos. Se definen para este modelo seis tipologías de materiales:
 - Hormigón para poste (H30 05): Material hormigón utilizado para los postes, en el cual se definen la resistencia especificada y el módulo de elasticidad.
 - Hormigón para base (H25 05): Material hormigón que conforma el dado de





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

fundación del sistema soporte.

- Acero pretensado para sección (acero Pre): Material acero de refuerzo generado para simular la cuantía de armadura activa en las secciones del poste.
- Acero de armaduras pasivas (ADN 420): Material acero de refuerzo generado para simular la cuantía de armadura pasiva en las secciones del poste.
- Acero para tendones (APL 1700): Material acero de refuerzo tipo tendón generado para simular la acción de pre compresión de la armadura activa sobre el hormigón del poste.
- Suelo Colorado: material definido de modo genérico que simula el comportamiento mecánica del suelo regional con aproximación razonable y suficiente para los alcances de este estudio.

A continuación hacemos una descripción de los Casos de análisis utilizados:

Análisis gravitatorio (DEAD): analiza la estructura considerando solo las cargas muertas aplicadas al sistema, incluyendo el peso propio de la estructura.

Análisis No lineal de Pre-compresión (Pretesado): El mismo intenta simular el efecto del pretensado en los elementos que componen el poste de hormigón estructural.

Análisis No lineal Dinámico de la acción del viento (V escalado Hg): aplica a la estructura por intermedio de un patrón de carga y una señal temporal aleatoria, una acción dinámica que intenta simular la acción que ejercen los cables y sus sistemas de apoyos sobre la estructura soporte principal.

Resumen de los resultados

Se presenta en la tabla el conjunto de variables elegidas aleatoriamente, las que son utilizadas, más adelante, como representativas del modelo para mostrar las repuestas del poste y la interacción base-suelo.

<i>Variable</i>	<i>Ud.</i>	<i>Denom.</i>
Diámetro de la cima del poste	m	X(1)
Espesor del poste	m	X(2)
Cuantía de armadura de pretensado	%	X(3)
Cuantía de armadura pasiva	%	X(4)
Lado de la base cuadrada	m	X(5)
Profundidad de la base	m	X(6)
Elasticidad del suelo	kN/ m ²	X(7)
Velocidad básica del viento	m/s	X(8)

Como respuesta del comportamiento del poste se muestra la relación momento-rotación de la rótula plástica ubicada en la base del poste. Dentro de los resultados se puede apreciar la

Relación momento-curvatura de la sección de la base del mismo. Paralelamente





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

mostramos valores de solicitaciones disponibles a flexión, en el momento de la fluencia y al instante de iniciar la plastificación de la pieza en diferentes puntos del poste, con el objeto de contrastarlos respecto de los valores de solicitación externa obtenidos. Se puede observar en los gráficos el siguiente fenómeno: la sección no presenta rotaciones importantes en la rotula adoptada, hasta no haber superado en un cierto porcentaje los valores previstos para el inicio de la plastificación. Si se hace el mismo análisis con un poste sin armaduras, es decir, de hormigón simple, vemos que el mismo no alcanza a desarrollar una acumulación de rotación en la base, simplemente a la alcanzar determinado valor de esfuerzo se rompe sin acumular más energía de deformación.

Otra cuestión importante a la hora de revisar resultados, es que al observar el desarrollo de las solicitaciones externas, y compararlas con los valores resistentes que son función de las propiedades mecánicas y geométricas de las secciones, aparece el sector de cambio de sección de las armaduras, como otro punto potencial de riesgo en términos de plastificación, incluso anterior a la sección crítica comprendida por la progresiva en la unión del poste con la base.

Conclusiones relevantes.

El análisis de los parámetros de respuesta, muestra que los mismos son consistentes tanto para el comportamiento elástico como para las incursiones en el campo plástico, indicando que el modelo estructural propuesto es razonable. Las comparaciones cuantitativas con procedimientos de cálculo estático equivalente de reglamentos también manifiestan que el modelo digital es aceptable.

Si bien el modelo computacional representa al prototipo real, se debe tener en cuenta los criterios de simplificación al sistema de cargas actuantes. La acción más importante no considerada es el comportamiento dinámico de los cables, que será incorporada en trabajos futuros.

Los límites establecidos en la idealización de Caltrans son aceptables para definir fronteras entre los comportamientos de tipo elástico y plástico. De todas formas es necesario realizar la confirmación experimental de los resultados arrojados por el modelo. Así también se debe validar el comportamiento elastoplástico del suelo, recurriendo a técnicas de idéntica índole, atendiendo que el mismo es considerado como un material elástico en el modelo computacional.

Pueden existir, según el desarrollo de la historia de solicitaciones que pueda arrojar cada sistema estructural, puntos críticos de plastificación que difieran de los estimados con usual frecuencia.

Incorporando los elementos aquí no analizados (cruceas, cadenas de aisladores y cables), el modelo será utilizado en el proceso de evaluación probabilística de la respuesta de líneas de transmisión de energía eléctrica, con el objetivo final de optimizar el sistema, que significa encontrar un diseño que minimice el costo total y verifique índices de confiabilidad mínimos en cada nivel de desempeño requerido.

Agradecimientos





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

Al Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería. A las autoridades de la UNaM. A nuestras familias por contener nuestro espíritu y sobrellevar la distancia.

Referencias

- Álvarez Marín, D.A. Control estructural estocástico de puentes sometidos a vibraciones producidas por el viento usando aletas separadas. *Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Manizales*, 2003.
- AEA 95301. *Reglamentación de líneas aéreas exteriores de media tensión y alta tensión*. Asociación Electrotécnica Argentina, Buenos Aires, 2007.
- Blessmann, J. *O vento na engenharia estrutural*. Editora da Universidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988.
- Castro, H.G., De Bortoli, M.E., Wittwer, A.R.; Marighetti, J.O. Simulación numérica del campo de velocidades del viento atmosférico utilizando el método de representación espectral. *Mecánica computacional*, Vol XXVI, pp. 144-160, AMCA, 2007.
- Mercanti, J.A., Aguirre M.A., Fank P.Y., Möller O., Acción dinámica del viento como proceso estocástico aplicado a sistemas de transmisión de energía eléctrica, *I Jornadas Regionales de Investigación en Ingeniería - UTN FRRe*, 2010.
- NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. Rio de Janeiro, 1988.
- Park, R., Paulay, T. *Estructuras de concreto reforzado*, Primera Edición, México, Editorial Limusa, 1979.
- Schiffner, M., Bruschi M. G. Construcción de líneas aéreas de energía eléctrica de tensiones nominales mayores de 1 kv. *DIN VDE 0210/12.85*, 1985.
- Takeda, T., Sozen, M. and Nielsen, N. Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 96, ST12, pp. 2557-2573, 1970.

