

# Espaciadores amortiguadores de haces de conductores eléctricos. La necesidad de definir un plan de vida

Germán G. Keil, Américo Jurasics y  
Damián F. Campos

## Resumen

Los sistemas de protección antivibratoria de haces de conductores de líneas de transmisión en muy alta tensión, están compuestos por espaciadores amortiguadores. Una de sus funciones, es disipar parte de la energía que transfieren los fenómenos eólicos al haz de conductores, para reducir la amplitud de las vibraciones, que generan fenómenos de fatiga en estos.

El diseño de las líneas prevé generalmente, una vida útil de 50 años; los controles y eventuales intervenciones en el sistema de protección antivibratoria, deben sintonizar la misma. Debe señalarse, que las articulaciones elásticas de los espaciadores amortiguadores, constituidas por material polimérico, sufren en operación una alteración de sus propiedades elásticas y amortiguantes, pudiendo generar compromisos sobre la performance del sistema de protección.

A la fecha los operadores de sistemas de transmisión, aplican metodologías intuitivas, particulares, para el monitoreo de la evolución de los sistemas de protección, y también para el establecimiento de condiciones que generen la necesidad del reemplazo de espaciadores amortiguadores.

Dada la necesidad del mantenimiento de activos de forma sustentable, racional, económica, asegurando la confiabilidad operativa, la propuesta es establecer un plan de vida para el sistema de protección antivibratoria, basado en un proceso de mantenimiento con bases preventivas y predictivas. En el marco de dicho plan, se propone una serie de acciones armonizadas que contemplan inspecciones visuales,

Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue  
german.keil@fain.uncoma.edu.ar  
americo.jurasics@fain.uncoma.edu.ar  
damian.campos@fain.uncoma.edu.ar

termográficas, radiográficas, electro-magneto acústicas, medición de vibraciones eólicas, determinación de las características elásticas y amortiguantes de espaciadores amortiguadores, colocación en vanos tipo de espaciadores amortiguadores prefatigados con la realización de mediciones sistemáticas de vibraciones para hacer análisis de correlación con el fin de establecer márgenes de vida útil remanente, y dado el caso la promoción de reemplazos preventivos de espaciadores amortiguadores. Para las mencionadas sustituciones se propone la aplicación de la metodología de la reutilización, reemplazando las articulaciones elásticas.

Palabras Claves: Transmisión eléctrica, espaciadores amortiguadores, plan de vida.

## 1. Introducción

En la transmisión de energía eléctrica en sistemas de alta y muy alta tensión, se emplean para cada fase, haces múltiples de conductores. Se dispone en el mercado de una amplia gama de conductores, con variadas características geométricas y de materiales. En el diseño de una línea de transmisión, estas características se deben compatibilizar con el tipo de estructuras soporte y longitudes de los vanos, surgiendo la



selección de un análisis de tipo técnico económico [1].

Para lograr la geometría del haz, y mantenerla por la acción de los fenómenos eólicos y eléctricos, se dispone de una serie de espaciadores amortiguadores, dispuestos a lo largo de cada vano, con una determinada tabla de posicionamiento. En la Figura 1 se puede observar una imagen tipo, con tres fases, conformadas por haces de conductores cuádruples con los correspondientes espaciadores amortiguadores.



Figura 1 Espaciador amortiguador

Dicho conjunto de espaciadores amortiguadores, adecuadamente posicionados, definen el denominado sistema de protección antivibratoria de conductores. En esencia, la función del sistema mencionado es mantener la distancia de diseño entre los conductores de una fase, además de absorber y disipar parte de la energía transferida por el viento a los conductores, manteniendo a las vibraciones y oscilaciones, en niveles que no comprometan la seguridad de los diversos componentes de la línea. Sobre el particular, en cuanto a la dinámica de los conductores, debe destacarse que se tienen dos fenómenos característicos, que son las vibraciones eólicas y las denominadas oscilaciones de subvano.

Las vibraciones eólicas son aquellas generadas por los denominados vórtices de Von Karman. En la Figura 2, se pueden observar detalles sobre los desprendimientos de vórtices que inducen las vibraciones señaladas, que se manifiestan en el rango de 3 a 60 Hz, para velocidades de viento de 1 a 8 m/seg.

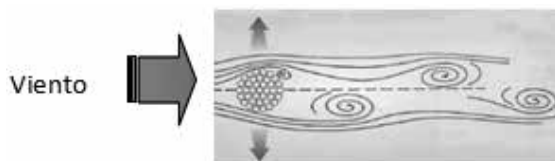


Figura 2 Generación de vórtices

Las vibraciones generadas en el conductor por dichos fenómenos eólicos, generan en los puntos de suspensión (pseudos empotramientos) por limitar el movimiento libre del conductor, fenómenos de fatiga en los hilos constituyentes del conductor, como se puede observar en la Figura 3.

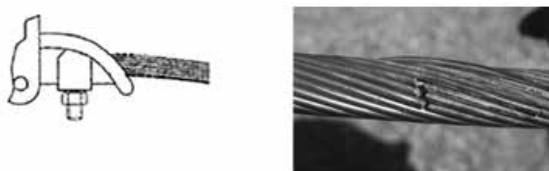


Figura 3 Morsa de suspensión y fenómeno de fatiga

En haces de conductores, el subconductor de sotavento está influenciado por el despredimiento de sus propios vórtices y por los desprendidos del subconductor de barlovento. El subconductor de barlovento no está influenciado por el de sotavento. Como los subconductores están vinculados por los espaciadores amortiguadores, se genera un fenómeno de inestabilidad del haz, denominado oscilaciones de subvano. La forma más común de este fenómeno consiste en la oscilación de un par de conductores casi horizontales en movimiento antifase, donde cada conductor describe una trayectoria elíptica. El movimiento ocurre a frecuencias próximas a 1 Hz. La amplitud de las oscilaciones puede dar lugar a posibles choques entre pares de conductores.

Las oscilaciones de subvano no generan en primera instancia compromisos sobre el conductor, pero si en las articulaciones elásticas de los espaciadores amortiguadores, que a su vez tiene una influencia sobre el comportamiento asociado con las vibraciones eólicas. El mencionado compromiso se traduce en la degradación de las propiedades de rigidez y amortiguamiento, de las articulaciones elásticas. Esto implica que luego de varios años de operación, el sistema

de amortiguamiento puede tener un comportamiento no acorde con sus especificaciones técnicas y requieran de una intervención. En la Figura 4, se pueden observar las características de una articulación. Con cuatro insertos de goma cilíndricos.



Figura 4 Articulación elástica

En la línea de transmisión, para determinar el comportamiento del sistema de protección antivibratoria, se hacen mediciones de vibraciones eólicas como se puede observar en la Figura 5.



Figura 5 Medición de vibraciones eólicas

Al momento de la concepción, la vida útil de una línea de alta tensión, se estima en aproximadamente 50 años o más. Independientemente de lo señalado, las líneas de transmisión una vez en operación y habiendo alcanzado largos períodos de operación, no se abandonan, sino que se adaptan y reacondicionan. Para que esos 50 años previstos se concreten en los hechos, se deben implementar una serie de acciones, controles de componentes críticos, alguno de ellos con una vida útil inferior al período señalado, como sucede con los espaciadores amortiguadores.

El propósito del trabajo es plantear alternativas de monitoreo y de intervenciones puntuales de los sistemas de protección antivibratoria de conductores, en el marco de un plan de vida, para que dado determinados emergentes, permitan definir con racionalidad el cambio de espaciadores amortiguadores, bajo el esquema de una reutilización de los mismos [2]. En esencia es plantear situaciones de condición, como

complementarias y/o sustitutiva de acciones preventivas cíclicas.

## 2. Normas y especificaciones técnicas

La norma a IEC 61854 Overhead Lines – Requirements and tests for spacer [3], presenta recomendaciones de uso internacional para la elaboración de las especificaciones técnicas y los ensayos de tipo y de rutina recomendables para espaciadores amortiguadores.

Plantea que el espaciador amortiguador sea diseñado para que mantenga la configuración física del haz, previniendo el contacto entre conductores excepto para cortocircuito, con restauración para esta situación a la geometría normal. En operación no se deben detectar deformaciones permanentes inaceptables en componentes, aflojamientos y ruidos audibles críticos. Además el diseño debe presentar facilidades para la instalación y remoción de componentes en líneas energizadas. También se establecen pautas para los materiales no metálicos. La diferencia de potencial entre partes metálicas no deberán causar daños por descarga. Cualquier flujo de corriente entre subconductores, no deberá alterar los materiales del espaciador.

Las normativas señaladas también especifican ensayos de fatiga por vibraciones eólicas y oscilaciones de subvanos, pautando límites aceptables para las variaciones de las características elásticas y amortiguantes. Estos ensayos son, para garantizar una adecuada vida útil.

El comportamiento del sistema de protección antivibratoria se determina en la línea instalada, con la medición en determinados vanos convenientemente seleccionados, de vibraciones eólicas, oscilaciones de subvano, desplazamientos de los brazos de algunos espaciadores amortiguadores, temperatura ambiente y velocidad del viento normal a la línea.

En el primer caso se hace referencia a ensayos sobre componentes, y en el segundo al comportamiento del sistema. Sobre el particular debe señalarse que no siempre hay una adecuada sintonía entre las exigencias de los ensayos de componentes y las reales condiciones de operación de estos componentes en la línea [1].

## 3. Plan de vida de una unidad operativa

Debe señalarse que la vida útil en servicio de una unidad o equipo productivo, es el tiempo estimado y estudiado en forma racional, durante el cual se prevé que no aparecerán fallas técnicas que no puedan ser detectadas previamente por el plan de inspecciones y durante el cual el rendimiento productivo es elevado. Durante la vida útil tal lo definido, la performance del equipo se ajusta a las especificaciones técnicas, conforme a las cuales fue diseñado.

En un sistema en operación, las preguntas clásicas a formularse desde el punto de vista del mantenimiento, son ¿corrijo, y/o prevengo y/o mejoro? [4]. En respuesta a estas preguntas surgen como lo plantean por ejemplo los especialistas Gallará y Pontelli [5], distintas políticas de mantenimiento por ejemplo: a) Mantenimiento a rotura; b) Programado o planificado.

En la práctica seguramente será una combinación, en donde la respuesta más ajustada se centrará en la filosofía de mantenimiento tomada como base, entre las cuales se tienen el mantenimiento centrado en la confiabilidad, en el negocio, en los riesgos y otros.

El responsable de una unidad productiva con años en servicio, deberá estimar una pervivencia, que no es más que la explicitación de una vida útil remanente deseada para el equipamiento. En base a ello, se define lo que se puede denominar el plan de vida de una unidad o equipo productivo. El mismo estará asociado con el programa de inspecciones preventivas, predictivas y trabajos correctivos a llevar a cabo. En esencia el plan de vida, estará directamente vinculado a los objetivos de la empresa en relación a la planta y/o a un equipo en particular, influyendo en la misma los requerimientos de confiabilidad, longevidad, legislación vigente y requerimientos económico-financieros, y debe partir de un minucioso estudio de los componentes.

#### **4. Antecedentes de intervenciones en sistemas de protección antivibratoria**

En nuestro país se tienen sistemas de transmisión en muy alta tensión con más de 30 años de operación comercial. Conforme a lo que se puede visualizar, surgen diversas evidencias de deterioros importantes. Debe enfatizarse que

las situaciones planteadas, pueden generar un compromiso muy serio sobre la vida útil de los conductores.

En relación a lo señalado, se visualizan distintos criterios en cuanto al posicionamiento de los responsables de la operación de sistemas de transmisión en muy alta tensión [2]. Se tipifican a continuación algunos casos:

- En determinadas líneas de transmisión, como ser las puestas en marcha en la década del 70, con visualización de algunos daños en conductores, y con espaciadores amortiguadores sin respuesta elástica o reducida al mínimo *minimorum*, se está procediendo al recambio parcial del sistema de protección antivibratoria de algunos vanos, por uno de nuevas características.

- El operador de línea, ante indicios de una respuesta inadecuada del sistema de protección antivibratoria, o en el marco de una acción preventiva, no de condición, decide el recambio de los espaciadores amortiguadores, por el mismo tipo del instalado originalmente, dentro de una programación de reemplazos por tramos.

#### **5. Propuesta de acción**

En la República Argentina, las especificaciones técnicas de los contratos de provisión de los sistemas de protección antivibratoria de conductores para líneas de transmisión eléctrica en 500 kV, pautan entre otros, la performance relativa a límites máximos de vibraciones eólicas de los conductores, con determinación eventual de la vida útil estimada de los mismos en el marco de un proceso de fatiga acumulada, previo a la aceptación para su operación comercial. Para el caso de no cumplirse con los valores especificados, el contratista debe introducir las modificaciones en el diseño, con redistribución de espaciadores amortiguadores, o una densificación de los mismos. Complementariamente las especificaciones técnicas prevén una serie de ensayos mecánicos y eléctricos de los espaciadores amortiguadores. En particular contemplan, por un lado ensayos de relevamiento de características elásticas y amortiguantes, definiendo desviaciones máximas respecto a los valores garantizados, y ensayos de fatiga con limitaciones en cuanto a valores finales de elasticidad y amorti-

guamiento.

Una vez habilitada una línea nueva, es decir en operación comercial, y fuera del período de garantía, no hay metodologías consensuadas, para hacer un seguimiento de la evolución de los sistemas de protección antivibratoria, y las consecuencias emergentes sobre la integridad de los conductores.

En el apartado 4, se hace mención a las acciones implementadas por ciertos Comitentes en nuestro país, en relación a líneas de transmisión con varias décadas de operación. En dichos antecedentes no hay referencias explícitas de mediciones de vibraciones o de otro tipo.

Sin cuestionar los fundamentos que sustentan y/o sustentaron las decisiones que avalaron y avalan las acciones implementadas y señaladas precedentemente, se entiende que con la tecnología disponible, se pueden poner en práctica una serie de acciones que permitan nutrir adecuadamente y ampliar, la matriz de decisión sobre el tema.

Dada la necesidad del mantenimiento de activos de forma sustentable, racional, económica, asegurando la confiabilidad operativa, la propuesta es establecer en primera instancia, un plan de vida para el sistema de protección antivibratoria, basado en un proceso de mantenimiento preventivo y predictivo. En esencia, es avanzar en implementar prácticas de mantenimiento programado o planificado, lo que implica definir una serie de tareas a realizar, los tiempos asociados, actores que intervendrán y los medios y recursos necesarios.

A dicho propósito, se propone una serie combinada de acciones que se detallan a continuación, y que se entiende resultan válidas cualquiera sea la antigüedad del sistema de transmisión.

En primer lugar se debería realizar un mapeo, para la tipificación o reconocimiento de: a) Vanos típicos, longitudes, orientación, topografía, para distintos tipos de espaciadores amortiguadores y grapas de suspensión. b) Vanos particulares, que merecieron un tratamiento singular durante el diseño, y puesta en servicio, con mediciones y ajustes. En ambos casos corresponde hacer un análisis y evaluación de los años de operación y antecedentes de intervenciones.

Con las tipificaciones emergentes de la eta-

pa precedente, se sugiere que el operador de la línea de transmisión, establezca la pervivencia del conductor, y en base a ello diagrame el plan de vida asociado al sistema de protección antivibratoria, que tal lo señalado precedentemente tiene componentes elastoméricos que modifican sus propiedades elásticas y amortiguantes por las acciones dinámicas de los brazos vinculados con los subconductores. Para el sistema en análisis, se debe asegurar una adecuada performance en el tiempo. Para ello se deben desarrollar herramientas, instrumentos, que permitan detectar en tiempo y forma y/o predecir, cuando dicha performance por el deterioro señalado, perfore umbrales de mínima que generen compromisos sobre el conductor, a los fines de planificar las intervenciones necesarias.

El plan de vida debería contemplar, en función de lo señalado:

- Inspecciones visuales: Sistemáticas, e intensificadas en zonas donde surgen evidencias de vibraciones severas, o directamente de daños. Cabe señalar que estas no permiten detectar roturas en capas interiores o en el interior de morsas o de preformados.

- Medición sistemática de vibraciones en las líneas de mayor cantidad de años de servicio [6]. Sobre el particular y como referencia, se debe destacar que internacionalmente hay distintas técnicas para monitorear indirectamente el estado de los sistemas de protección antivibratoria, a través de la medición de vibraciones y que se pueden sintetizar en los siguientes criterios:

- a) IEEE (Institute Electrical and Electronics Engineers) 1966: Máxima deformación por flexión.

- b) EPRI (Electric Power Research Institute) & IEEE) 2006: Máxima amplitud de flexión admisible.

- c) CIGRE (Internacional Council on Large Electric Systems): Amplitud de tensión por flexión admisible, con cálculo de vida útil basado en la hipótesis de Miner, tomando como referencia una curva SN (Tensión – Número de Ciclos) denominada línea de borde segura.

De la información disponible, estas técnicas de seguimiento no son aplicadas sistemáticamente en nuestro país. Una de las causas

asociadas, es el costo de los instrumentos y la necesidad de disponer de recursos humanos calificados para las mediciones y procesamiento de la información.

Independientemente debe indicarse y destacarse, que no hay normativas o guías internacionales, para planificar el establecimiento de rutinas de estas mediciones. En el mismo sentido debe señalarse, si las mediciones de vibraciones señaladas, arrojan resultados superiores a ciertos límites, o bien estimaciones de vida útil muy acotadas, tampoco hay metodologías de acción o de intervención preestablecidas.

Simultáneamente, a las mediciones señaladas, se recomienda implementar inspecciones para determinar la integridad del conductor en la zona de grapas, especialmente para los casos del tipo abulonadas.

- Paralelamente a la medición de vibraciones, en los vanos señalados, culminado el período de medición se propone retirar, en casos previamente estudiados y evaluados, espaciadores amortiguadores y hacer una inspección detallada con determinación de las características elásticas y amortiguantes y comparar con los resultados obtenidos con los espaciadores nuevos (ensayos de tipo, y eventualmente de remesa).

La disponibilidad de niveles de vibraciones y estado de los espaciadores amortiguadores en cuanto a características elásticas y amortiguantes, permite hacer un análisis de correlación; es decir analizar el nivel de vibraciones considerando el estado del espaciador amortiguador. De tal manera que luego, con medición de vibraciones o relevamientos de características de espaciadores amortiguadores, en forma aislada, permitirán tomar decisiones en cuanto a eventuales intervenciones.

- En vanos, con elevados niveles vibracionales, corroborar el estado del conductor en puntos críticos [6], con inspecciones visuales intensivas y complementar con inspecciones termográficas, radiográficas o electro, magneto acústicas.

Las inspecciones termográficas pueden efectuarse desde el suelo. La experiencia demuestra que fallas con menos de tres hilos rotos no producen cambios apreciables de temperatura.

Las inspecciones radiográficas permiten detectar hilos rotos. Son costosas, complejas y no totalmente confiables.

Las inspecciones Electro, Magneto Acústicas, puede efectuarse en líneas energizadas.

- A los efectos de mejorar las predicciones de vida útil de los espaciadores, y sus consecuencias sobre la vida útil de los conductores, se propone como alternativa, colocar en vanos tipo, espaciadores amortiguadores prefatigados a diversos ciclos.

Se entiende que esta alternativa permite asociar comportamiento vibracional y estado del sistema de protección antivibratoria, para determinar la vida útil remanente y planificar las intervenciones.

- Con inferencias tempranas, o bien en el marco de un plan preventivo de instrumentación "slow" a largo plazo, en los vanos más críticos, reemplazar los espaciadores amortiguadores, y donde sea posible empleando el criterio de la reutilización de los mismos [2].

También en cuanto al recambio, sería conveniente hacer pequeñas reubicaciones de los espaciadores amortiguadores. La zona crítica por fatiga está en la sección límite de contacto externo entre la grapa y el conductor, donde hay un proceso de fatiga acumulada en lo que se denomina etapa I del fenómeno, reconocida como nucleación de la fisura.

Para el caso de vanos que hayan tenido un comportamiento vibracional desfavorable, estudio previo mediante, se podría densificar la cantidad de espaciadores amortiguadores.

El adecuado "mix" de tareas a implementar y explicitadas precedentemente, estará asociado con el horizonte de vida útil que se requiere, la confiabilidad deseada, el estado de la línea, y los recursos económicos financieros a disponer para la instrumentación correspondiente.

## 6. Conclusiones

Centrando la mirada en el aseguramiento de la integridad de los conductores, con una vida útil estimada, y asociada a la degradación del sistema de protección antivibratoria de los mismos, resulta imperioso establecer un plan de vida para cada línea de transmisión.

La propuesta de acción que se presentó si

bien es de aplicación general, hace hincapié en la situación de líneas con varias décadas de operación comercial.

Visto los antecedentes nacionales sobre el particular con evidencias de acciones puntuales, no sistemáticas, integrales, se considera que el plan de trabajo expuesto es de absoluta viabilidad, con acciones concretas, de aplicación flexible relacionada a la disponibilidad de recursos y el tipo de los mismos, con fundamento de racionalidad ingenieril a partir de una visión holística, minimizando riesgos, con reducción de costos incrementales a futuro.

El plan de vida, con una premisa preventiva de tiempo, condición y predictiva, debería contemplar un conjunto de acciones armoniosamente planificadas y ejecutadas a partir de un estado de situación a determinar, de los conductores y el sistema de protección antivibratoria. El mismo abarca mediciones de vibraciones con definición de límites de aceptación, medición de características elásticas y amortiguantes de espaciadores amortiguadores, inspecciones visuales, termográficas, radiográficas y electro, magneto acústicas, instalación de espaciadores amortiguadores prefatigados con visualización de performance en línea, y reutilización de espaciadores amortiguadores bajo el formato preventivo (por tiempo), sustituyendo las articulaciones elásticas.

Tal lo planteado por estos autores para líneas nuevas [2], la operación de recambio expuesta, se facilita si durante la fase de ingeniería de la provisión, se conciben diseños para facilitar el recambio de componentes poliméricos.

La propuesta que se presenta, está en directa sintonía y se complementa, con anteriores referidas a la adecuación de los ensayos de fatiga de espaciadores amortiguadores a su real performance en la línea y reutilización de espaciadores amortiguadores.

## 7. Referencias.

G. Keil, A. Jurasics, D. Maranghello, INTERCON 2010, Componentes de líneas eléctricas de muy alta tensión: Explorando nuevas pautas de provisión a partir de los requerimientos de las especificaciones técnicas actuales de los contratos, Puno, Perú, 2010.

G. Keil, A. Jurasics, D. Maranghello, III CAIM, Aplicación de la técnica de reutilización en el diseño de espaciadores amortiguadores de haces de conductores eléctricos, Buenos Aires, 2012.

CEI IEC 61854 - INTERNATIONAL STANDARD, Overhead lines – Requirement and tests for Spacers, First edition, 1998-09.

H. Bergero, I. Furlanetto, I. Machi, C. Mastriforti, I. Turconi, El Mantenimiento en Tenaris, Editorial Tenaris University, Buenos Aires 2008.

I. Gallará, D. Pontelli, Mantenimiento industrial, Editorial Universitas, Córdoba, 2005

U. Cosmai, Convenor CIGRE WG B2.25 Bangkok, Assesment of Aeolian vibration severity, 2009.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa TRANSENER S.A., y en particular a sus Ingenieros Hugo Canay, Miguel Gariboglio y Enrique Brettschneider, por la permanente colaboración y asistencia que brindan al desarrollo del Laboratorio de Ensayos de Conductores del Departamento de Mecánica Aplicada – FAIN – UNCo.