

BROCHURE TÉCNICO

Estudio de Vibración Eólica en Líneas AT/EAT

Controla la vibración eólica antes de que se convierta en falla
Líneas 66 kV – 500 kV | SEN Chile | Metodología CIGRÉ SC B2

Rayenco Consultores | Ingeniería de Transmisión
Colo Colo 240, Los Ángeles, Chile | +56 963551190 | contacto@rayencoconsultores.cl
www.rayencoconsultores.cl



BROCHURE TÉCNICO. Estudio de Vibración Eólica en Líneas AT/EAT

1. El problema: fatiga silenciosa en corredores chilenos

La vibración eólica es un fenómeno aeroelástico generado por el desprendimiento alternado de vórtices de Kármán sobre el conductor. No son los temporales ni los vientos extremos los que dañan la línea: son los vientos laminares de 1 a 7 m/s, completamente ordinarios en cualquier corredor de transmisión chileno, desde el norte árido hasta la costa del Biobío o los pasos andinos.

A estas velocidades, las fuerzas transversales periódicas excitan los modos naturales de vibración del vano. Las oscilaciones resultantes se concentran en las grapas de suspensión y empalmes, nucleando fisuras en las hebras externas del conductor. El proceso es indetectable visualmente hasta que la fatiga ya es irreversible.

12 – 36

meses hasta corte de hebras sin control eólico

1 – 7 m/s

velocidad de viento que destruye el conductor

5 – 15 ×

mayor costo correctivo vs. estudio preventivo

Un problema de diseño, no de mala suerte

La mayoría de los sistemas de amortiguamiento instalados en Chile y Latinoamérica no fueron diseñados con datos instrumentales del sitio ni verificados con el método de Balance de Energía (EBP) reconocido por CIGRÉ SC B2. El resultado es una tasa sostenida de corte de hebras, indisponibilidad no programada y costos de mantenimiento correctivo entre 5 y 15 veces superiores al costo de un estudio preventivo correctamente ejecutado.

«El conductor no avisa. La fatiga avanza en silencio hasta que la falla es inminente. El estudio en fase de diseño e ingeniería es la única herramienta que cierra esa brecha antes de que el problema llegue a terreno.»

2. ¿A quién afecta en el sistema eléctrico chileno?

Cualquier operador con líneas AT/EAT en corredores expuestos al viento está en riesgo. En el contexto del SEN chileno, los perfiles de mayor susceptibilidad son:

- ▶ **Transmisión:** Empresas transmisoras con líneas 66–500 kV en corredores costeros, altioplánicos o de precordillera.
- ▶ **Minería:** Minería del norte grande: líneas de suministro dedicado en zonas áridas con viento persistente y amplitudes térmicas extremas.
- ▶ **Generación:** Generadoras con infraestructura de evacuación propia en zonas de alta exposición eólica.
- ▶ **Industria:** Grandes consumidores regulados y operadores bajo auditoría de disponibilidad CNE/SEC.

3. Los cuatro errores de diseño que perpetúan el problema

La literatura técnica de CIGRÉ y la experiencia acumulada en actividades de campo en Chile convergen en un hallazgo incómodo: la mayor parte de los sistemas de amortiguamiento instalados no satisfacen la condición EBP. No por desconocimiento de la norma, sino por la brecha entre el rigor que la metodología exige y los atajos que la práctica habitual permite.

Error 1

Velocidad de viento sin corrección de sitio

Usar el mapa normativo NCh 432 como input velocidad de ráfaga a 10 m en terreno llano es ajeno a un corredor real. Una subestimación del 30% en la velocidad implica un 69% menos de potencia del viento calculada.

Error 2

Posicionamiento sin verificación del antinodo

Instalar el amortiguador a la distancia 'de catálogo' ignora la longitud de onda del modo dominante. Un amortiguador ubicado en el nodo de vibración tiene eficiencia disipativa exactamente nula.

Error 3**Selección de amortiguador por catálogo genérico**

La curva $P_d(f)$ real depende del conductor específico, temperatura y condiciones de fijación. Usar curvas genéricas puede sobreestimar la disipación real por un factor de 2 a 4 en frecuencias críticas.

Error 4**Ausencia total de verificación EBP**

El Energy Balance Principle (CIGRÉ SC B2) es el único método que confirma analíticamente que el sistema controla la vibración en todo el rango crítico. Sin este paso, la especificación del amortiguador es una apuesta.

4. Nuestra solución: tres fases, un resultado garantizado

La metodología Rayenco implementa el estándar CIGRÉ SC B2 / WG B2.11 en tres fases secuenciales e integradas. El diferenciador central es la sustitución de supuestos genéricos de escritorio por datos instrumentales propios del sitio en cada variable de entrada del modelo.

1. Monitoreo ambiental de precisión

Instalación de estaciones autónomas en estructuras y vanos críticos del tramo, determinadas por criterio combinado H/w + historial de daño + inspección visual. Registro continuo mínimo de 30 días: velocidad escalar, dirección, temperatura y cuando el historial lo justifica aceleración del conductor. Resultado: curva $P_w(f)$ site-specific, irreplicable entre vanos de distinto régimen eólico.

2. Análisis mecánico del conductor

Determinación de frecuencias naturales por vano con parámetros as-built verificados. Construcción del espectro de excitación para las velocidades medidas. Cálculo de la amplitud de vibración Y_b/d en la grapa de suspensión para cada modo resonante activo. Clasificación por severidad de daño según IEEE 1283 / CIGRÉ B2.25.06.

3. Determinación del nivel de riesgo y diseño del sistema de amortiguamiento

Verificación gráfica y numérica de la condición EBP: $P_c(f) + P_d(f) \geq P_w(f)$ en todo el rango de frecuencias críticas del vano. Selección del amortiguador con curva $P_d(f)$ validada para el conductor específico. Posicionamiento exacto por antinode placement, calculado vano a vano.

5. Entregables:

El estudio no entrega recomendaciones genéricas. Entrega un conjunto de documentos de ingeniería que permiten implementación directa, licitación de suministro y auditoría regulatoria ante CNE/SEC sin interpretación adicional por parte del operador.

Entregable	Contenido técnico	Utilidad operacional
Informe de caracterización eólica	Distribución rosa de vientos, ventanas de excitación resonante.	Base de diseño reproducible y auditable. Reutilizable para futuras ampliaciones.
Mapa de riesgo vibratorio	Clasificación por vano/tramo según H/w, historial de daño e índice de severidad CIGRÉ.	Priorización objetiva de inversión. Triage entre vanos críticos y no críticos.
Análisis modal del conductor	Frecuencias naturales f_n , espectro de excitación y amplitud Y_b/d para cada modo resonante.	Identifica los modos que superan el límite de fatiga del conductor.
Verificación EBP por vano	Curvas $P_w(f)$, $P_c(f)$ y $P_d(f)$ superpuestas. Balance energético gráfico y numérico.	Demostración analítica de que el sistema controla la vibración.
Especificación técnica	Tipo, modelo y masa del amortiguador. Cantidad por vano. Justificación técnica.	Input directo para licitación de suministro e ingeniería de detalle.

Plano de posicionamiento	Distancia exacta desde la grapa (mm), calculada por antinode placement para cada vano.	Instrucción de montaje unívoca. Elimina discrecionalidad en terreno.
Protocolo de instalación	Criterios de torque, orientación y verificación. Lista de control para cuadrilla.	Cierre del ciclo de calidad: de la ingeniería al activo instalado conforme.

6. El argumento económico: el costo de no actuar

El costo de un estudio de amortiguación completo con metodología EBP representa típicamente entre el 0,3% y el 1,2% del valor de reposición del activo que protege. Bajo el marco regulatorio de la Ley 20.936, un evento de indisponibilidad en una línea troncal puede generar penalidades cuyo orden de magnitud supera ampliamente esa inversión.

<p>Estudio preventivo EBP</p> <p>1 × (baseline)</p> <p>Sistema de amortiguamiento verificado. Conductor protegido durante toda su vida útil de 40–60 años.</p>	<p>Diseño sin EBP + reemplazo cíclico</p> <p>3 × – 6 ×</p> <p>Sistema subóptimo. Conductor en riesgo. El problema de fondo no se resuelve con el reemplazo.</p>
<p>Reparación con corte de hebras</p> <p>8 × – 20 ×</p> <p>Reducción permanente de sección. Costos regulatorios bajo Ley 20.936 y penalidades del Coordinador.</p>	<p>Falla catastrófica del conductor</p> <p>50 × – 200 ×</p> <p>Interrupción del SEN. Reposición total del vano o tramo más daños a terceros y penalidades regulatorias.</p>

7. Cuando necesitas certeza técnica

La vibración eólica por desprendimiento de vórtices de Kármán es un mecanismo de fatiga activo y cuantificable en todo conductor AT/EAT expuesto a vientos de 1 a 7 m/s. No es un fenómeno excepcional: es la condición de operación normal del conductor en cualquier corredor de Chile.

La metodología EBP es la herramienta analítica que cierra la brecha entre el diseño de escritorio y el comportamiento real del sistema en terreno. No es una recomendación de buenas prácticas: es el único método que provee garantía analítica de control de la vibración.

«Un estudio preventivo correctamente ejecutado cuesta entre 5 y 200 veces menos que los escenarios de falla que previene, y entrega documentación técnica que respalda tanto decisiones operacionales como obligaciones regulatorias.»

«Cuando necesitas certeza técnica»

Rayenco Consultores
 Colo Colo 240, Los Ángeles, Chile
 Tel: +56 963551190
contacto@rayencoconsultores.cl
www.rayencoconsultores.cl