

BROCHURE TÉCNICO

Estudio de Corriente de Fuga en Aisladores

Anticipa el flashover monitoreando la contaminación superficial y la corriente de fuga en sistemas AT/EAT

IEC 60507 Ensayo de contaminación artificial	IEC 60815 Selección de aisladores por contaminación	Rayenco Consultores Los Ángeles, Chile +56 9 6355 1190 contacto@rayencoconsultores.cl
--	---	--



1. EL FENÓMENO FÍSICO: MECANISMO DE FALLA POR CONTAMINACIÓN

Los aisladores de las líneas y subestaciones AT/EAT están expuestos de forma continua a la deposición de contaminantes ambientales sobre su superficie dieléctrica. Este proceso silencioso y gradual es uno de los principales factores de flashover en sistemas eléctricos de potencia a nivel mundial y el más frecuente en ambientes severos como los que presenta Chile.

Mecanismo de Contaminación-Humectación-Flashover

Proceso en 4 etapas: ① Deposición de sales y partículas conductivas sobre la superficie del aislador. ② Humectación de la capa contaminante (niebla, rocío, llovizna, condensación). ③ Formación de una capa conductiva superficial que permite el flujo de corriente de fuga. ④ Aparición de bandas secas y arcos parciales que, si progresan, desembocan en flashover completo.

La norma IEC 60815 clasifica el nivel de contaminación del entorno mediante el parámetro ESDD (Equivalent Salt Deposit Density, mg/cm²) y el NSDD (Non-Soluble Deposit Density, mg/cm²), obtenidos por ensayo normalizado en campo o laboratorio. Estos valores determinan la distancia de fuga mínima que deben proveer los aisladores instalados, y son la base del diseño de aislamiento por contaminación.

Zonas de Alta Severidad en Chile

El territorio chileno concentra algunas de las condiciones de contaminación más severas del mundo, combinando ambientes costeros de alta salinidad, desierto con depósitos minerales y corredores industriales de emisiones intensas:

Zona / Entorno	Agente Contaminante Principal	Nivel ESDD típico (mg/cm ²)	Nivel IEC 60815
Zona costera (0–10 km del mar)	NaCl, sulfatos, aerosol marino	0,10 – 0,50	c / d (alto/muy alto)
Desierto de Atacama	Polvo de salitre, nitratos, cloruros	0,05 – 0,30	b / c (medio/alto)
Polo industrial (minería, fundición)	SO ₂ , partículas metálicas, ácidos	0,20 – 1,00+	d / e (muy alto/extremo)
Agroindustrial / biomasa	Polvo orgánico, pesticidas, humedad	0,05 – 0,20	b / c
Zona urbana industrial	Hollín, NO _x , partículas finas (PM10)	0,05 – 0,15	b / c

Indicador de alerta temprana: Un nivel de corriente de fuga sostenido superior a 1 mA (rms) en un aislador de cadena en condición húmeda, o la presencia de picos superiores a 10–20 mA, son señales de alerta que anteceden al flashover en horas o días. La detección oportuna permite intervenir antes del evento disruptivo.

2. EL PROBLEMA REAL EN TERRENO

La norma establece que la selección y el mantenimiento del sistema de aislamiento deben considerar el nivel de contaminación real del emplazamiento y las condiciones climáticas locales. En la práctica, sin embargo, la mayoría de los sistemas operados en Chile presentan uno o más de los siguientes problemas:

Gestión sin estudio especializado	Consecuencias observadas en terreno
<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento por calendario fijo sin considerar el nivel real de contaminación acumulado ni las condiciones climáticas del período. 	<ul style="list-style-type: none"> Flashovers inesperados en épocas de niebla o llovizna, con indisponibilidad de líneas críticas del SEN y multas regulatorias asociadas.
<ul style="list-style-type: none"> Lavado en condiciones de alta humedad que provoca flashover durante la intervención (efecto contraproducente documentado en IEC 60815-4). 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de mantenimiento correctivo entre 3x y 10x superiores al costo de un estudio preventivo bien ejecutado.

Gestión sin estudio especializado	Consecuencias observadas en terreno
<ul style="list-style-type: none"> Selección de aisladores sin respetar la distancia de fuga mínima requerida para el nivel de contaminación del emplazamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Daño progresivo al material aislante (erosión, carbonización superficial, seguimiento) que reduce la vida útil hasta en un 40%.
<ul style="list-style-type: none"> Ausencia de monitoreo continuo que permita detectar el incremento de corriente de fuga previo al evento disruptivo. 	<ul style="list-style-type: none"> Actuación de protecciones en cascada y riesgo de blackout regional en sistemas de transmisión de alta criticidad.
<ul style="list-style-type: none"> Reposición de aisladores sin identificar la causa raíz: el nuevo aislador falla en el mismo plazo si el entorno no se gestiona. 	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de confiabilidad del sistema, aumento del índice SAIDI y consecuencias sobre contratos de suministro eléctrico.

3. METODOLOGÍA RAYENCO

Aplicamos la metodología CIGRÉ WG C4.303 combinada con los protocolos IEC 60507 e IEC 60815, con datos instrumentales propios del sitio, no con suposiciones de escritorio ni extrapolación de datos de emplazamientos distantes.

Fase 1. Monitoreo Ambiental e Higrométrico en Sitio

- Instalación de estaciones autónomas de monitoreo ambiental en las estructuras o zonas de mayor riesgo (criterio: cercanía al mar, historial de flashover, nivel de contaminación catastral).
- Registro continuo de temperatura T [°C], humedad relativa HR [%], punto de rocío Td [°C], velocidad y dirección del viento V [m/s], irradiancia solar y precipitación.
- Identificación de ventanas críticas: períodos de alta HR (>80%) coincidentes con baja temperatura (niebla o rocío) que activan la humectación de la capa contaminante.
- Período mínimo de registro: 30 días continuos, priorizando época de mayor actividad de niebla/llovizna según análisis de datos ERA5 o estaciones SMN cercanas.

Fase 2. Medición de Corriente de Fuga y Diagnóstico

- Instalación de sensores de corriente de fuga de alta frecuencia (HF) o ultrabaja frecuencia (LF) en la base de las cadenas de aisladores bajo estudio.
- Monitoreo continuo con registro de la forma de onda: valor rms, valor de pico, carga de carga específica [mC] y conteo de pulsos por ventana temporal.
- Detección automática de picos y comportamientos anómalos mediante umbrales configurables, con trazabilidad temporal completa para análisis de tendencias.
- Clasificación del nivel de actividad superficial conforme a los criterios de la guía CIGRÉ C4.303: Nivel 1 (normal) → Nivel 4 (pre-flashover inminente).

Fase 3. Medición de ESDD/NSDD y Verificación de Distancia de Fuga

- Muestreo de aisladores en campaña de campo según protocolo IEC 60507: extracción de muestra de la capa contaminante y análisis por conductividad.
- Determinación del ESDD [mg/cm²] y NSDD [mg/cm²] por cara (barlovento/sotavento) para cuantificación objetiva del nivel de contaminación acumulado.
- Verificación de la distancia de fuga instalada respecto a la mínima requerida según IEC 60815-1 y -3 para el nivel de contaminación medido.
- Identificación de cadenas subdimensionadas o de material inadecuado para el entorno (especial relevancia en zonas costeras con aisladores de porcelana antigua).

Fase 4. Correlación y Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

- Correlación estadística multivariable: HR + Td + corriente de fuga + ESDD → construcción del modelo de riesgo específico del sitio.
- Definición de umbrales operativos calibrados: valores de corriente de fuga y condición climática que activan el protocolo de alerta y la orden de trabajo de mantenimiento.
- Recomendación de frecuencia de lavado/limpieza optimizada por zona: reemplaza los calendarios fijos por decisiones basadas en el estado real del aislador.

- Criterios de verificación post-intervención: retorno a Nivel 1 de actividad superficial como condición de cierre del trabajo.

4. ENTREGABLES DEL ESTUDIO

El servicio culmina con un Informe Técnico de Ingeniería Especializada y un conjunto de herramientas operativas para la gestión de riesgo y el mantenimiento basado en condición:

#	Entregable	Contenido y valor técnico
1	Serie meteorológica e higrométrica del sitio	Registro continuo de temperatura, humedad relativa, punto de rocío, velocidad/dirección del viento e irradiancia. Identificación de ventanas críticas de humectación y condiciones de niebla/llovizna conducentes al flashover.
2	Registro de corriente de fuga y detección de anomalías	Monitoreo continuo de corriente de fuga por fase, detección automática de picos superiores a umbrales definidos (mA), trazabilidad temporal y generación de alertas en tiempo real.
3	Correlación ambiente-contaminación/corriente	Análisis estadístico de la relación entre condiciones meteorológicas, nivel de ESDD/NSDD acumulado y comportamiento de la corriente de fuga. Base para el modelo predictivo de riesgo.
4	Mapa de riesgo y semáforo de condición	Clasificación de los aisladores monitoreados en niveles Verde / Amarillo / Rojo según umbrales calibrados. Herramienta operativa directa para priorización de intervenciones de mantenimiento.
5	Recomendación de mantenimiento por condición (CBM)	Frecuencia óptima de lavado/limpieza por fase o zona, criterios de verificación post-intervención y propuesta de ajuste al plan de mantenimiento preventivo vigente.
6	Informe Técnico de Ingeniería Especializada	Documento consolidado con fundamento normativo (IEC 60815, IEC 60507, CIGRÉ C4.303), hallazgos, curvas de tendencia, conclusiones y recomendaciones. Apto para auditoría regulatoria CNE/SEC.

5. QUE NOS HACE ESPECIALISTAS

Diferenciadores Técnicos	Contexto Chileno
<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo instrumental en sitio con equipos de alta precisión (HF/UHF), no estimaciones teóricas ni extrapolación de datos de otro emplazamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de los corredores críticos del SEN: zonas costeras del Biobío, norte de Chile (salares, desierto), y polos minero-industriales de Antofagasta, Atacama y O'Higgins.
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de la norma IEC 60815 partes 1-4 para selección del nivel de contaminación y distancia de fuga mínima según material aislante (porcelana, vidrio, polimérico). 	<ul style="list-style-type: none"> • Experiencia con los tipos de aisladores predominantes en el parque chileno: cadenas de porcelana, vidrio templado y aisladores poliméricos en líneas AT/EAT 66-500 kV.
<ul style="list-style-type: none"> • Protocolos de medición de ESDD y NSDD conformes a IEC 60507 para cuantificación objetiva del nivel de contaminación acumulado en la superficie del aislador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiaridad con las exigencias de la CNE, la SEC y los contratos de transmisión bajo la Ley 20.936, incluyendo requisitos de disponibilidad y estándares de seguridad.
<ul style="list-style-type: none"> • Correlación multivariable: datos meteorológicos + corriente de fuga + contaminación superficial para definir umbrales operativos precisos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación de metodologías internacionales a las condiciones específicas del territorio chileno: humedad costera, salinidad de la brisa marina y régimen térmico del desierto.
<ul style="list-style-type: none"> • Entregables de ingeniería listos para implementar y aptos para auditoría regulatoria CNE / SEC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte técnico continuo post-informe para implementación del plan de mantenimiento por condición.

«Cuando necesitas certeza técnica»



+56 9 6355 1190
Teléfono / WhatsApp

contacto@rayencoconsultores.cl
Correo electrónico

www.rayencoconsultores.cl
Sitio web