

BROCHURE TÉCNICO 2026

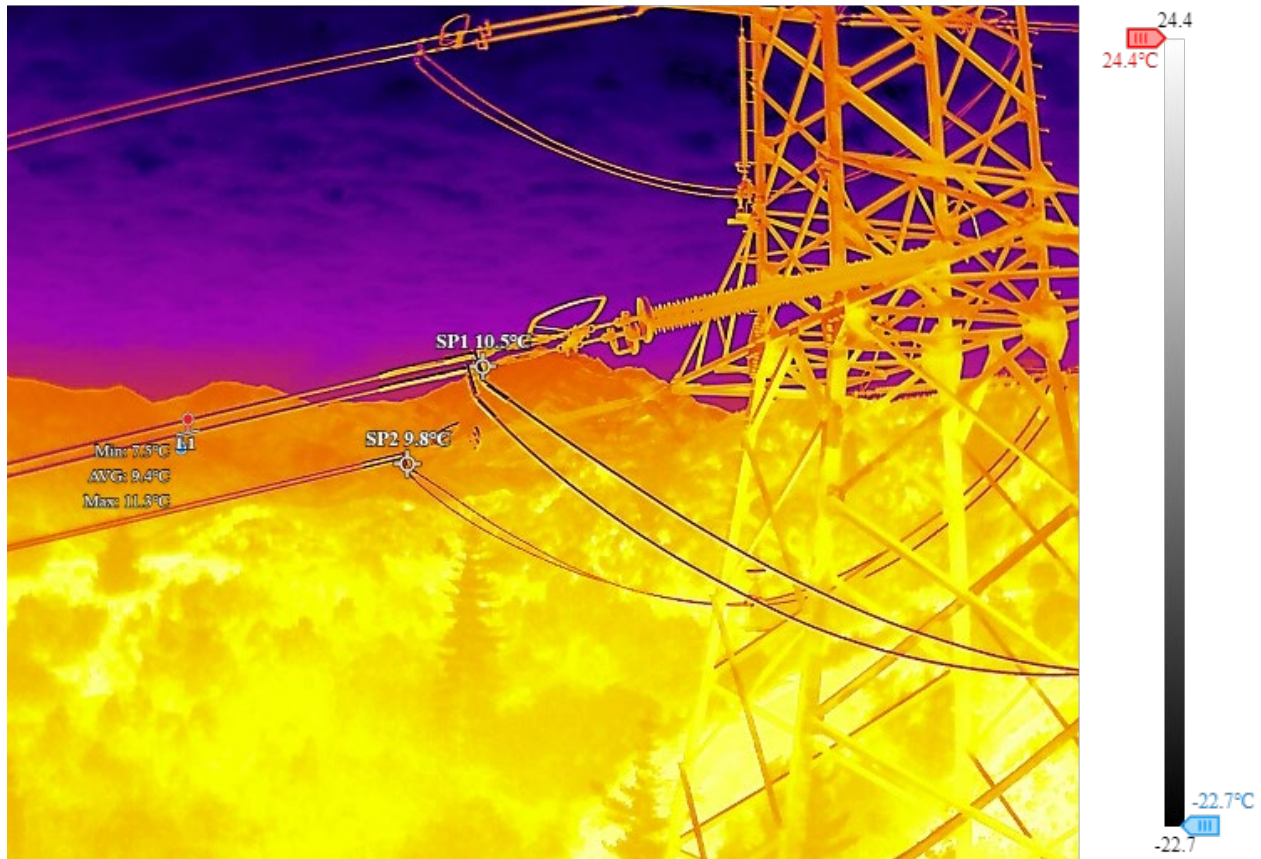
Inspección Termográfica Infrarroja en Líneas de Alta y Extra Alta Tensión con Drones

Clasificación por ΔT bajo NFPA 70B:2025 para priorización de mantenimiento basado en condición

Empresas Transmisoras • Generadoras • Gran Minería • Industria

Rayenco Consultores

Colo Colo 240, Los Ángeles, Chile | +56 963551190 | contacto@rayencoconsultores.cl
www.rayencoconsultores.cl



1. EL DESAFÍO: LÍNEAS AT/EAT Y SUS INTERFACES CRÍTICAS

1.1 Activos extensos, fallas puntuales, consecuencias sistémicas

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de Chile opera más de 40.000 kilómetros de líneas de transmisión desde Arica hasta Chiloé, con una capacidad instalada superior a 39.200 MW y más de 1.247 subestaciones coordinadas por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN). Estas líneas de alta y extra alta tensión constituyen la columna vertebral energética del país, y una falla puntual en cualquiera de ellas puede escalar a indisponibilidad forzada, restricciones operativas y riesgos relevantes para la estabilidad del sistema.

El mayor desafío está en las interfaces eléctricas de las estructuras de transmisión: conectores, grampas de anclaje, empalmes de compresión, uniones en vano y marcos de línea en subestaciones. En estos puntos convergen esfuerzos eléctricos, mecánicos y ambientales, y es donde las degradaciones incipientes (corrosión, pérdida de presión de contacto, contaminación superficial, fatiga por vibración) se manifiestan primero como incrementos localizados de temperatura, el primer síntoma observable de una condición que puede evolucionar hacia falla.

1.2 Los actores del SEN que necesitan esta inspección

Esta solución está diseñada para todos los propietarios y operadores de líneas AT/EAT del SEN:

- ▶ **Empresas transmisoras:** Transelec, ISA Interchile, Grupo SAESA, Engie Transmisión, Colbún Transmisión, CGE Transmisión, Chilquinta, entre otras. Propietarias de la infraestructura nacional y zonal.
- ▶ **Empresas generadoras:** Enel, AES Andes, Colbún, Engie, Statkraft, Pacific Hydro y cientos de generadoras renovables con líneas de evacuación y subestaciones de conexión propias.
- ▶ **Gran minería:** Codelco, BHP, Antofagasta Minerals, SQM, Teck, Anglo American, Lundin Mining. Operan líneas dedicadas de alimentación donde una falla puede detener la operación con costos de millones de dólares por hora.
- ▶ **Gran industria:** Celulosas, siderurgia, petroquímica, desaladoras y otros grandes consumidores con infraestructura de transmisión propia conectada al SEN.

Todos comparten un desafío común: convertir señales térmicas incipientes en decisiones de mantenimiento ejecutables, con cobertura, seguridad, trazabilidad y criterio técnico estandarizado.

2. EL DOLOR OPERATIVO: LO QUE HOY NO SE PUEDE VER

Independientemente del segmento, los propietarios y operadores de líneas AT/EAT enfrentan una brecha crítica en la inspección de sus componentes más vulnerables:

2.1 Inspección terrestre limitada

La termografía convencional desde nivel de suelo enfrenta limitaciones severas en líneas de alta tensión: ángulo de observación inferior (contrapicada), distancia excesiva al componente (30-80 metros), cobertura parcial de las caras de la estructura, y dependencia total del acceso vehicular a cada torre. En zonas de montaña, ríos o propiedades privadas, múltiples estructuras simplemente no pueden ser inspeccionadas.

2.2 Puntos ciegos en componentes críticos

Las grampas de anclaje superiores, las uniones de compresión en vano y los conectores de las fases más altas quedan frecuentemente fuera del campo de visión del termógrafo terrestre. Estos son precisamente los puntos de mayor esfuerzo electromecánico y mayor probabilidad de degradación, generando un punto ciego en el programa de mantenimiento predictivo.

2.3 Sin criterio estandarizado de priorización

Muchas inspecciones termográficas reportan temperaturas absolutas sin referencia comparativa, o utilizan criterios de evaluación diversos entre campañas y proveedores. Sin un ΔT calculado sistemáticamente

contra una referencia válida y sin una clasificación de severidad estandarizada, el mandante recibe hallazgos que no son directamente accionables ni comparables en el tiempo.

2.4 Falta de trazabilidad y línea base

Sin evidencia radiométrica georreferenciada, sin parámetros de medición documentados y sin un historial consistente, no es posible detectar tendencias térmicas entre campañas, correlacionar hallazgos con intervenciones de mantenimiento, ni respaldar decisiones ante el CEN, la SEC o auditorías internas.

Rayenco resuelve esta brecha: inspección aérea con RPAS, captura radiométrica completa, análisis por ΔT bajo NFPA 70B:2025, evidencia trazable y recomendaciones accionables.

3. SERVICIO RAYENCO: INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA INFRARROJA CON RPAS

Rayenco entrega un servicio de inspección termográfica infrarroja aérea en líneas AT/EAT energizadas, orientado a mantenimiento basado en condición. El propósito no es solo capturar imágenes, sino diagnosticar y priorizar: detectar anomalías térmicas, cuantificar su severidad mediante ΔT , clasificar el hallazgo bajo NFPA 70B:2025 y emitir una recomendación accionable para la continuidad operacional.

3.1 Modelo de valor: Ver, Medir, Decidir, Actuar

1. VER	Captura aérea radiométrica por estructura y fase con DJI Matrice 30T. Imagen térmica + óptica + zoom + GPS. Cobertura completa: 6 análisis por estructura (3 fases x 2 sentidos).
2. MEDIR	Análisis radiométrico en DJI Thermal Analysis Tool 3. Mediciones SP1/SP2/SP3 en componentes críticos vs L1 (referencia en conductor). Parámetros estandarizados: $\epsilon=0,90$ HR Tref distancia.
3. DECIDIR	Cálculo de $\Delta T = SPx - L1$ por punto. Clasificación de severidad Nivel 0-3 bajo NFPA 70B:2025. Juicio técnico considerando carga, ambiente e historial.
4. ACTUAR	Recomendación accionable por punto: seguimiento en ciclo regular, revisión en corto plazo, intervención programada o intervención inmediata. Bitácora ejecutiva para planificación de mantenimiento.

3.2 Especialización y roles clave

Operador RPAS (captura): Profesional especializado en inspección de infraestructura eléctrica, responsable de seguridad, trazabilidad y toma consistente por estructura y fase.

Termógrafo/Analista (diagnóstico): Profesional con formación eléctrica y termografía, responsable del análisis radiométrico, juicio técnico por punto, cálculo de ΔT , clasificación y recomendación accionable.

3.3 Tecnología utilizada (alta gama industrial)

La inspección se realiza con DJI Matrice 30T (M30T), plataforma multirotor robusta (IP55) diseñada para operaciones industriales, equipada con sensor térmico FLIR VOx de 640x512 px, sensibilidad <50 mK, cámara óptica de 12 MP, zoom de 48 MP y captura radiométrica R-JPEG. El análisis se ejecuta en DJI Thermal Analysis Tool 3.

4. CRITERIO DE EVALUACIÓN: NFPA 70B:2025 + ΔT

Rayenco adopta la NFPA 70B:2025 como marco normativo único y transversal para la clasificación de severidad de hallazgos termográficos. El criterio se basa en el delta térmico (ΔT), calculado como la diferencia entre la temperatura del componente crítico y una referencia válida (conductor libre adyacente), no en temperaturas absolutas.

Nivel	ΔT (°C)	Clasificación	Acción recomendada
0	$\Delta T < 10$ °C	Normal	Sin acción inmediata. Seguimiento en ciclo regular.
1	10 °C $\leq \Delta T \leq 20$ °C	Leve	Revisión en corto plazo. Monitorear evolución.
2	21 °C $\leq \Delta T \leq 40$ °C	Moderada	Programar intervención correctiva.
3	$\Delta T > 40$ °C	Crítica	Intervención inmediata. Riesgo de falla.

Quando la inspección se realiza con carga inferior al 40%, cualquier elevación térmica debe interpretarse con criterio restrictivo: a mayor carga, los ΔT se amplifican.

5. ¿POR QUÉ INSPECCIÓN AÉREA CON RPAS?

La inspección termográfica aérea con RPAS ofrece ventajas decisivas frente al método terrestre convencional para líneas AT/EAT:

Criterio	Terrestre convencional	Aérea con RPAS (Rayenco)
Ángulo de observación	Inferior (contrapicada), componentes superiores ocultos.	Múltiple: frontal, lateral, superior. Acceso directo a todas las fases.
Distancia al objetivo	30-80 m. Resolución espacial limitada.	10-25 m. Mayor resolución, mejor discriminación de puntos SP.
Cobertura por estructura	Parcial. Solo caras visibles desde suelo.	Completa. 6 análisis por estructura (3 fases \times 2 sentidos).
Acceso a terreno	Requiere caminos a cada torre. Inviabile en montaña, ríos o zonas privadas.	Independiente del terreno. Opera en cualquier zona.
Velocidad	Lenta. Tiempos de traslado significativos entre estructuras.	Alta. Desplazamiento aéreo continuo con rendimiento superior.
Evidencia	Solo imagen térmica. Contexto visual limitado.	Térmica + óptica 12 MP + zoom 48 MP + GPS. Trazabilidad completa.
Seguridad	Exposición a terrenos complejos, fauna y clima.	Operación a distancia segura con protocolos RPAS.

6. ENTREGABLES Y VALOR PARA EL MANDANTE

Rayenco transforma una campaña de termografía en decisiones de mantenimiento defendibles, entregando evidencia completa, trazabilidad y un criterio único de criticidad bajo NFPA 70B:2025. El mandante recibe un sistema de priorización: hallazgo $\rightarrow \Delta T \rightarrow$ nivel \rightarrow acción.

6.1 Entregables del servicio

Entregable	Contenido
Informes por estructura	Mediciones SP1/SP2/SP3 y L1 (promedio), cálculo explícito de ΔT , juicio técnico, clasificación de criticidad y recomendaciones por fase y sentido conforme a NFPA 70B:2025.
Informe general consolidado	Visión ejecutiva del tramo completo: estado general, criterios aplicados, hallazgos relevantes, su criticidad y trazabilidad entre estructuras, componentes y evidencias.

Bitácora ejecutiva	Registro para planificación de mantenimiento: puntos críticos ordenados por severidad y urgencia de acción (remates, marcos de línea, uniones).
Evidencia radiométrica	Imágenes térmicas R-JPEG sin procesar y procesadas, imágenes ópticas de contexto, identificación por estructura/fase/sentido. Respaldo para auditoría técnica.

6.2 Valor para el mandante

- ▶ **Priorización objetiva y accionable:** la criticidad se define por ΔT y niveles bajo NFPA 70B:2025, habilitando acciones concretas por mantenimiento con criterio técnico estandarizado e internacionalmente reconocido.
- ▶ **Reducción de riesgo operacional:** detección temprana de anomalías en interfaces críticas antes de evolucionar a fallas, indisponibilidades o eventos forzados con impacto en el SEN.
- ▶ **Eficiencia y foco en recursos:** entrega directa a planificación: qué intervenir, dónde, con qué urgencia y con qué evidencia, disminuyendo trabajo reactivo y visitas repetidas a terreno.
- ▶ **Trazabilidad y línea base:** documentación consistente para seguimiento, comparabilidad entre campañas y soporte técnico ante CEN, SEC, SERNAGEOMIN y auditorías internas/externas.
- ▶ **Cumplimiento normativo:** evidencia objetiva y trazable conforme a NFPA 70B:2025 que respalda el programa de mantenimiento predictivo ante requerimientos regulatorios del SEN.

7. BENEFICIOS POR SEGMENTO

7.1 Para empresas transmisoras

- ▶ **Cobertura completa de líneas extensas:** inspección aérea de tramos completos incluyendo estructuras en zonas inaccesibles por tierra, con rendimiento operativo superior al método terrestre.
- ▶ **Evidencia normativa para el CEN y SEC:** respaldo trazable ante requerimientos del Coordinador Eléctrico Nacional, reportes de cumplimiento DS N°109, NTSyCS y auditorías.
- ▶ **Línea base para gestión de activos:** establecimiento de referencia térmica comparable entre campañas para detectar tendencias y justificar inversiones en mantenimiento y recambio.

7.2 Para empresas generadoras

- ▶ **Protección de líneas de evacuación:** las líneas que conectan centrales de generación al sistema de transmisión son críticas para la evacuación de energía; una falla significa pérdida de generación e ingresos.
- ▶ **Parques renovables en zonas extremas:** líneas de evacuación de plantas solares en Atacama y eólicas en zonas costeras y australes operan en entornos de alta agresividad ambiental.

7.3 Para la gran minería

- ▶ **Continuidad del proceso productivo:** una falla en la línea de alimentación puede detener la operación minera con costos de millones de USD por hora. La inspección termográfica es un seguro operacional de alto retorno.
- ▶ **Cumplimiento SERNAGEOMIN:** evidencia objetiva de gestión del riesgo eléctrico en instalaciones mineras de alta tensión.

7.4 Para la gran industria

- ▶ **Protección de líneas de suministro:** la línea de alimentación es el punto de partida del suministro industrial. Monitorear sus interfaces es proteger la línea productiva y los compromisos contractuales.

8. MARCO NORMATIVO Y EXIGENCIAS

8.1 Regulación chilena aplicable

Instrumento	Relevancia para la inspección termográfica
LGSE / DFL N°4	Obligación de mantener la integridad y confiabilidad de activos de transmisión.
DS N°109/2017	Exige gestionar riesgos que afecten continuidad y seguridad del SEN, incluyendo mantenimiento predictivo.
NTSyCS	Estándares de continuidad y gestión de activos que requieren evidencia objetiva.
Normativa CEN	Trazabilidad ante eventos, fallas y análisis de causa raíz en transmisión.
RPTD N°15	Mantenimiento predictivo y basado en condición en instalaciones de transmisión.
SERNAGEOMIN	Gestión del riesgo eléctrico en instalaciones de la gran minería.

8.2 Mejores prácticas internacionales

La inspección se enmarca en NFPA 70B:2025 como referencia principal para clasificación de severidad, complementada por ANSI/NETA MTS (pruebas de mantenimiento), ISO 18434-1 (termografía como técnica predictiva) e IEC 62446-3 (procedimientos y competencias). La transición desde ANSI/NETA MTS-2015 hacia NFPA 70B:2025 representa una evolución hacia estándares más actualizados y con mayor alcance técnico.

Medir, clasificar y documentar con criterio NFPA 70B:2025 es una respuesta directa a las exigencias regulatorias chilenas y un respaldo concreto ante CEN, SEC y auditorías.

9. MODELO DE IMPLEMENTACIÓN

El servicio sigue un enfoque adaptable a la realidad de cada mandante, escalable desde un tramo piloto hasta la inspección del parque completo de líneas:

Etapas	Actividades clave	Entregables
1. Planificación	Definición de alcance y estructuras objetivo con el mandante. Revisión de planos, condiciones de carga, accesos y ventanas operativas. Coordinación de permisos.	Plan de inspección, cronograma, especificaciones técnicas y requisitos logísticos.
2. Inspección	Levantamiento aéreo estructura por estructura. Captura radiométrica por fase y sentido. Registro de condiciones ambientales y de carga.	Imágenes térmicas R-JPEG y ópticas georreferenciadas. Bitácora de vuelo y condiciones de inspección.
3. Análisis	Postproceso radiométrico. Medición SP/L1. Cálculo de ΔT . Clasificación NFPA 70B:2025. Juicio técnico y recomendaciones por punto.	Informes por estructura, informe consolidado, bitácora ejecutiva y evidencia radiométrica completa.
4. Seguimiento	Línea base para futuras campañas. Comparabilidad entre inspecciones. Apoyo a planificación de mantenimiento del mandante.	Base de datos histórica. Análisis de tendencias térmicas entre campañas.

10. CIERRE EJECUTIVO

Las líneas de alta y extra alta tensión del SEN son activos críticos cuya confiabilidad depende de la integridad de interfaces eléctricas que operan bajo esfuerzos continuos. La inspección termográfica infrarroja aérea con RPAS, ejecutada bajo la metodología de Rayenco y el marco normativo de la NFPA 70B:2025, ofrece una solución concreta, trazable y accionable para transformar señales térmicas en decisiones de mantenimiento.

Con esta solución, el mandante puede:

- ▶ **Detectar anomalías térmicas incipientes** en componentes críticos de líneas energizadas, con cobertura completa y sin desenergizar.
- ▶ **Cuantificar y clasificar la severidad** mediante ΔT bajo NFPA 70B:2025, con criterio estandarizado e internacionalmente reconocido.
- ▶ **Priorizar intervenciones** con evidencia objetiva, reduciendo riesgo operacional y optimizando recursos de mantenimiento.
- ▶ **Establecer línea base comparables** para seguimiento de tendencias y mejora continua del desempeño de los activos.
- ▶ **Respaldar cumplimiento normativo** ante CEN, SEC, SERNAGEOMIN y auditorías con datos objetivos y trazables.

«Termografía radiométrica, evidencia que respalda decisiones»

Rayenco Consultores

Colo Colo 240, Los Ángeles, Chile | Tel: +56 963551190

contacto@rayencoconsultores.cl

www.rayencoconsultores.cl