BRÚJULA SESIÓN 18

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN



De la falla puntual a la gestión del riesgo a escala: Diagnóstico y priorización de mantenimiento de grandes poblaciones de activos distribuidos.

Jorge Antonio Jaimes Báez

Director de Mantenimiento – ISA ENERGÍA CHILE

Información Interna

Una falla puntual reveló un problema mucho mayor.

El 14 de julio de 2022 se presentaron eventos de corte de subconductores en la línea de transmisión Nueva Pan de Azúcar–Polpaico 2x500 kV, bajo condiciones de bajas temperaturas y nieve

14 de julio de 2022

Análisis Causa Raíz (ECR) + Análisis forense

Huellas de desgaste del conductor en la zona de contacto con las mordazas de los separadores.

Mecanismo identificado

Fretting: Micromovimientos repetitivos que generan desgaste progresivo del conductor y pueden terminar en ruptura.

Las primeras inspecciones confirmaron que no era un caso aislado:

Hallazgos en sectores distintos del punto de falla.

Diferentes niveles de evolución del modo de falla observados.

Una **población extensa** de separadores-amortiguadores a lo largo de aproximadamente de **750 km** de línea, cuya condición individual no era conocida en su totalidad



La pregunta dejó de ser solo “¿por qué falló?”
Y pasó a ser “¿dónde más podría estar ocurriendo?”

Información Interna

Decidir antes de intervenir: Una estrategia técnicamente sustentada

La decisión no era corregir la condición, sino definir la forma más efectiva, segura y oportuna de abordarla.

ESCENARIO	ALCANCE	HALLAZGOS ESPERADOS
1 Intervención localizada	Atender el sector inicialmente afectado y establecer medidas de control y seguimiento	Respuesta oportuna frente a la condición observada
2 Evaluación progresiva	Inspeccionar y caracterizar sectores priorizados para ampliar el conocimiento de la población	Condición, criticidad, confiabilidad y evidencia disponible
3 Escalamiento de acciones	Ampliar a ajustar las intervenciones cuando los nuevos datos técnicos así lo indiquen	Reducción del riesgo y resguardo de la continuidad del sistema



CONCLUSIÓN

Se definió una estrategia progresiva de inspección, monitoreo e intervención según la condición y criticidad, susceptible de ampliarse o ajustarse a medida que se incorporan nuevos datos.

Antes de intervenir, necesitábamos reducir la incertidumbre y establecer **DÓNDE CONCENTRAR LA ATENCIÓN PRIORITARIA.**

Información Interna

¿Cómo reducir la incertidumbre a esta escala?

Evaluamos alternativas de inspección para ampliar la cobertura, reducir la incertidumbre y obtener información técnicamente útil sobre una población extensa de componentes.

CRITERIO	TERRESTRE	TREPADO	HELICÓPTERO	DRONES (IVT)
Seguridad / exposición	Mayor exposición en terreno	Trabajo en altura	Exposición operacional aérea	Menor exposición del personal
Cobertura	Limitada	Limitada	Alta	Alta
Tiempo de ejecución	Alto para cobertura masiva	Alto	Menor	Adecuado para inspección masiva
Calidad	Limitada por accesibilidad	Alta pero localizada	Buena cobertura	Alta resolución por componente
Repetibilidad / trazabilidad	Limitada	Limitada	Posible	Alta trazabilidad y repetibilidad
Factibilidad operacional	Condicionado por acceso	Condicionada por trabajo en altura	Condicionada por operación aérea	Adecuada para cobertura repetible

La evaluación permitió definir una combinación de métodos orientada a ampliar la cobertura, reducir la exposición del personal y obtener evidencia trazable para priorizar las acciones posteriores

La selección de IVT se realizó mediante evaluación multicriterio, considerando seguridad, cobertura, calidad de evidencia, tiempo, repetibilidad y costo relativo. Los valores económicos específicos forman parte del análisis interno del caso

Información Interna

De más de 200.000 imágenes a información de condición

Implementamos una solución escalable que transforma datos en decisiones.



1. CAPTURA

Vuelos con drones y fotografías de alta resolución

2. TRAZABILIDAD

Georreferenciación desde estructura / vano hasta separador

3. PROCESAMIENTO

Gestión y preparación de más de 200.000 imágenes en la nube

4. IA COMO APOYO

Detección y clasificación automática de hallazgos (IA supervisada)

5. VALIDACIÓN EXPERTA

Revisión y validación por especialistas

6. INFORMACIÓN PARA DECISIÓN

Condición de cada separador y priorización de mantenimiento

La georreferencia es clave: cada imagen queda asociada al circuito, fase y separador exacto, permitiendo trazabilidad y análisis poblacional.

Información Interna

Del hallazgo a la Decisión de mantenimiento

Convertimos la evidencia visual en una acción concreta y priorizada.

1

CLASIFICACIÓN DEL HALLAZGO

Daño observable en hebras del conductor.

2

CONDICIÓN DEL SEPARADOR

Condición mecánica y elementos del separador.

3

SEVERIDAD DEL HALLAZGO

Combinación de daño y condición

1 2 3 4 5

4

ESTANDARIZACIÓN Y ACCIÓN

Criterios técnicos comunes para registro en SAP y definición de acciones:

- Monitorear
- Reemplazo programado
- Reemplazo prioritario

5

PRIORIZACIÓN OPERACIONAL

Consideramos ubicación, ventanas operativas, materiales y recursos disponibles.

Este proceso permite transformar miles de hallazgos en decisiones de mantenimiento claras, consistentes y alineadas con el riesgo real del sistema.

Información Interna

De la evidencia observable a la acción de mantenimiento

Ejemplo de aplicación del criterio de decisión – atención prioritaria.

1. Evidencia observable	2. Criterio aplicado	3. Nivel de severidad	4. Decisión de mantenimiento	5. Validación en terreno
Hebra cortada en el conductor, coincidente con una mordaza suelta. Presencia de desgaste compatible con fretting en la zona de contacto.	Daño observable en el conductor y desprendimiento de la mordaza. La coexistencia de ambos hallazgos incrementa la severidad.	Condición de severidad alta según regla de diagnóstico homologada. **La cual califica al equipo en 1**	Reemplazo prioritario del separador-amortiguador y evaluación del conductor en la primera ventana operacional disponible. **En este caso se asigna una prioridad de atención de máximo 4 semanas**.	La inspección física durante la intervención confirma el desgaste en la zona de contacto conductor-mordaza y permite determinar el alcance real del daño en el conductor.

Hallazgo detectado



Reparación



La imagen no genera por sí sola una orden de mantenimiento. La decisión resulta de combinar evidencia, severidad, criticidad, validación experta y condiciones operacionales.

Información Interna

De la evidencia observable a la acción de mantenimiento

Ejemplo de aplicación del criterio de decisión – intervención programable.

1. Evidencia observable	2. Criterio aplicado	3. Nivel de severidad	4. Decisión de mantenimiento	5. Validación en terreno
Mordaza floja o desalineada. Tornillo breakaway sin reventar y sin daño visible en las hebras.	Condición compatible con montaje o apriete incompleto. Homologación SAP: “Mal instalado”.	Severidad compatible con atención programada, al no observarse daño en el conductor ni desprendimiento del conjunto. La cual califica al equipo en 3	Revisión y corrección programada del conjunto en una ventana de mantenimiento. En este caso se asigna una prioridad de atención de máximo a año.	Verificación del montaje, alineación, fijaciones y condición del conductor. Corrección y registro de la condición final.

Hallazgo detectado



Reparación

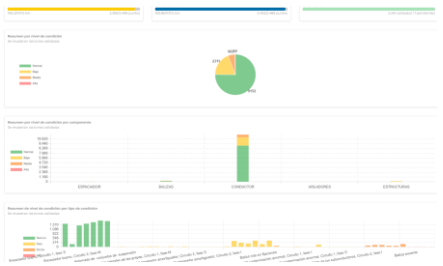
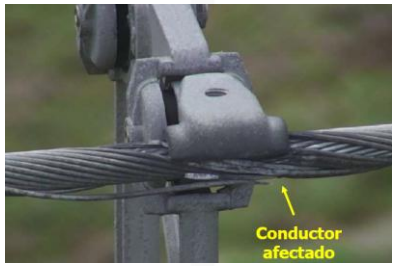


Una anomalía de montaje sin daño observable en el conductor puede gestionarse de forma programada, manteniendo seguimiento hasta corregir la condición.

Información Interna

Intervenir también nos permitió validar

Contrastamos los hallazgos obtenidos por IVT con la condición física encontrada durante las intervenciones en terreno

HALLAZGO IVT	IMAGEN DETECTADA	INTERVENCIÓN	CONDICIÓN FÍSICA ENCONTRADA
Detección de posible desgaste (fretting) en mordaza - conductor 	Imagen de alta resolución georreferenciada que evidencia la condición 	Intervención programada según severidad y priorización. 	Desgaste (fretting) confirmado en la zona de contacto conductor - mordaza 

Las intervenciones permitieron contrastar los hallazgos obtenidos mediante imágenes con la condición física encontrada durante el mantenimiento

Información Interna

Resultados observados y límites de interpretación

Resultados alcanzados y conclusiones con base en la evidencia disponible

Separadores–amortiguadores evaluados a los largo de aproximadamente 750 km de la línea

100 %

De la población caracterizada con inspección visual tecnologizada (IVT).

Más de 200.000

Imágenes georreferenciadas y analizadas con apoyo de IA supervisada.

≈ 4 meses

Inspección integral de la línea.

> 50 %

Reducción del tiempo de clasificación.

Desde la implementación y las intervenciones priorizadas no se han registrado nuevas rupturas atribuibles a fretting

Este resultado es consistente con la reducción del riesgo buscada, pero no permite cuantificar fallas evitadas ni establecer una relación causal absoluta.

Información Interna

Lo transferible no es el dron, es el método.

Un método escalable y replicable para convertir información en decisiones de mantenimiento.



1. DEFINIR POBLACIÓN

Cuantificar y comprender los activos.



2. INSPECCIONAR A ESCALA

Captura sistemática con IVT (drones) georreferenciada.



3. IDENTIFICAR

Detección de condiciones con apoyo de IA supervisada.



4. CLASIFICAR

Clasificación por severidad y nivel de evolución.



5. VALIDAR

Contraste con intervenciones y evidencia en terreno.



6. PRIORIZAR

Evaluación de riesgo, costo y desempeño (proceso SALVO).



7. INTERVENIR

Ejecución de mantenimiento priorizado.



8. RETROALIMENTAR

Incorporar nueva información y mejores decisiones.

APLICACIÓN POSTERIOR: AISLADORES POLIMÉRICOS

- TRACKING
- CRACKING
- PÉRDIDA DE ALETAS
- CONTAMINACIÓN
- EFECTO CORONA
- TERMOGRAFÍA
- CORONOGRAFÍA

Este método comenzó a extenderse a la evaluación de otros componentes de la línea de transmisión. Su aplicabilidad depende de que el mecanismo produzca una manifestación observable y de que los criterios sean validados para cada activo y técnica

Información Interna

El aprendizaje que nos dejó el caso.

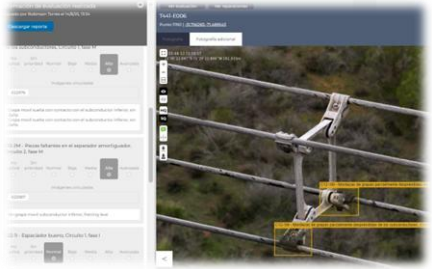
Ideas clave que deben guiar nuestras decisiones futuras.



Una falla individual puede revelar un riesgo poblacional.



Inspeccionar no equivale a gestionar el riesgo.



La tecnología genera valor cuando responde a una decisión que necesitamos tomar.

Antes de preguntar “¿Cómo inspeccionaremos?”, preguntémonos:
¿QUÉ DECISIÓN QUEREMOS TOMAR Y QUÉ EVIDENCIA NECESITAMOS PARA TOMARLA?

Información Interna

SESIÓN 18

ESCANEA EL CÓDIGO QR

RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN

¡GRACIAS!

Jorge Antonio Jaimes Báez

jjaimes@chile.isaenergia.com

Información Interna