

## ANÁLISIS DE ELIMINACION DE CAUSA DE RIESGO POR FALLAS EN CABLES DE POTENCIA DE 35 KV EN SUBESTACIONES DE ISA-TRANSELCA

Luis Carlos Escaño Rodríguez & Maria Beatriz Vergara Ochoa  
TRANSELCA S.A E. S. P. Carrera 24 # 1A -24 Piso 18 Edificio BC Empresarial  
Email: lescano@transelca.com.co & mvergara@transelca.com.co  
Puerto Colombia - Colombia

### 1. Introducción

Ante las fallas presentadas en la Subestación Santa Marta de ISA- TRANSELCA, lo que implicó el riesgo en la atención de la demanda al usuario final, así como daños y riesgos asociados a los equipos de las bahías de llegada de los transformadores de potencia que se conectan al barraje a través de cables de potencia del tipo XLPE de 35kV, fue necesario realizar un análisis de ELIMINACIÓN DE CAUSA DE RIESGO (ECR), enmarcado dentro del proceso de mejora continua implementado por ISA- TRANSELCA, con el objetivo de tomar acciones de mejora definidas desde la raíz del problema.

Debido a la necesidad de dar confiabilidad y disponibilidad al sistema eléctrico de potencia y con esto, la garantía de dar continuidad del servicio de energía al usuario final fue necesario implementar el uso de herramientas de análisis que permitieran encontrar el origen de las anomalías presentadas, con el objetivo de tomar las acciones correctivas para garantizar la operatividad de los equipos y la confiabilidad en el servicio de energía.

Adicionalmente, dentro de los procesos de las compañías, la cantidad de interrupciones y el tiempo de duración de las intervenciones con equipos desenergizados se han convertido en los indicadores que más impactan en sus procesos.

ISA-TRANSELCA, empresa eléctrica de la Costa Norte Colombiana, se dio a la tarea de buscar herramientas de análisis, que permitan minimizar y eliminar las salidas de los activos por este tipo de fallas, para esto, se realizaron estudios especializados y basados en criterios de Costo, Riesgo y Desempeño, a fin de poder identificar, medir y controlar las variables evidenciadas en el modo de falla de los activos.

A través de la gestión de activos, se tomaron las medidas correctivas y llevadas a todos los activos instalados en la empresa, obteniendo beneficios para la compañía y mejorando la calidad del servicio en los usuarios finales.

### 2. Marco Teórico

**Corriente eléctrica (I):** Es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro [1].

**Tensión o potencial eléctrico (V):** La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es V [1].

**Resistencia eléctrica (R):** La resistencia eléctrica es la oposición de un material al flujo de corriente en un circuito eléctrico. La resistencia convierte la energía eléctrica en energía térmica [1].

**Cable apantallado:** Cable con una envoltura conductora alrededor del aislamiento que le sirve como protección electromecánica. Es lo mismo que cable blindado [1].

**Disponibilidad:** Certeza de que un equipo o sistema sea operable en un tiempo dado. Calidad para operar normalmente [1].

**Evento:** Es una manifestación o situación, producto de fenómenos naturales, técnicos o sociales que puede dar lugar a una emergencia [1].

**Falla:** Degradación de componentes. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema, componente o persona, para cumplir una función requerida [1].

**Corriente de fuga (mA -  $\mu$ A):** Es la corriente capaz de circular por un material dieléctrico [1].

**Administración de riesgos:** La aplicación sistemática de políticas administrativas, procedimientos y prácticas de trabajo para mitigar, minimizar o controlar el riesgo [1].

**Aislamiento eléctrico básico:** Aislamiento aplicado a las partes vivas para prevenir contacto eléctrico [1].

**Aislamiento funcional:** Es el necesario para el funcionamiento normal de un aparato y la protección contra contactos directos [1].

**Análisis de riesgos:** Conjunto de técnicas para identificar, clasificar y evaluar los factores de riesgo. Es el estudio de consecuencias nocivas o perjudiciales, vinculadas a exposiciones reales o potenciales [1].

### 3. Antecedentes

El 15 de diciembre del año 2012, entra en servicio el proyecto de ampliación de transformación 220/110/34,5kV 100/70/30MVA, transformación 34,5/13,8kV 35MVA y una salida de línea 110kV en la subestación Santa Marta propiedad de TRANSELCA. La subestación Santa Marta 220/110/34,5/13,8 kV, centro de transmisión y distribución de energía del área GCM (Guajira, Cesar y Magdalena) se ha convertido en una subestación muy importante para el sistema, sus tres (3) transformadores de potencia T-SMT01, T-SMT02 y T-SMT09 trabajan al 70% de su capacidad nominal, debido a esta condición y a la regulación existente desenergizar un transformador se ha convertido en todo un desafío para TRANSELCA.

El 25 de octubre del 2021, se realiza la actividad preventiva para encintar los cables de potencia debido a fisuras presentadas en la chaqueta.



Fig 1. Fisura presentada en cable de potencia XLPE

El 20 de noviembre del 2021, se ejecutaron las actividades de aplicación de protección en chaqueta exterior a los 3 cables de potencia del transformador Santa Marta 09 por 34,5kV.



Fig 2. Cable de potencia XLPE con protección en chaqueta exterior

Durante la intervención se evidencia en el cable fisuras y deterioro de la chaqueta (cristalización y porosidad) en la parte del cable expuesta al ambiente.

El 30 de enero del año 2022, durante actividades de cambio de cable de potencia del transformador Santa Marta 10, se evidencia sobrecalentamiento anormal en cable de potencia de 34,5kV del transformador Santa Marta 9. Al realizar inspección y verificación se encuentra apantallamiento del cable de potencia aterrizado en ambos extremos. Por lo anterior, se realizaron las gestiones correspondientes para corregir la

condición del aterrizamiento inadecuado del apantallamiento del cable de potencia del transformador Santa Marta 09 34,5kV.



Fig 3. Aterrizaje extremo Transformador (Pórtico)

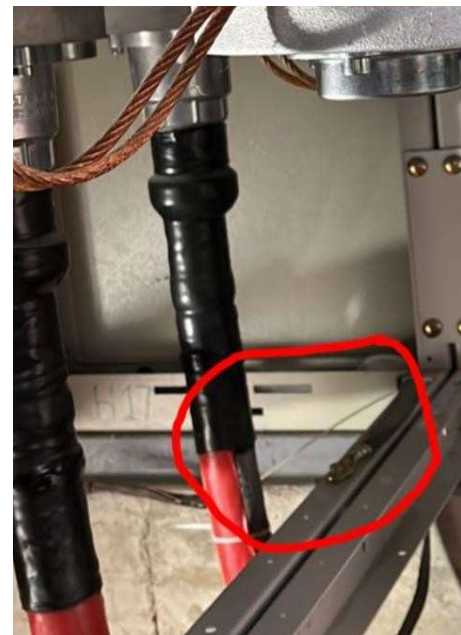


Fig 4. Aterrizaje extremo celda de M.T

El 3 de marzo del 2022, se ejecuta la actividad de corrección del aterrizaje del apantallamiento del cable de potencia del transformador Santa Marta 09 34,5kV, desconectando puesta a tierra del apantallamiento en el extremo de la celda, se deja aterrizado el apantallamiento únicamente en el extremo del transformador (Pórtico). Adicional, se realiza aplicación de protección a la chaqueta del cable de potencia, la cual debido al sobrecalentamiento existente en el cable derritió parte de la chaqueta.

En la subestación Santa Marta, el 9 de mayo del 2022 a las 04:36, se presenta explosión en la sala de control y con este evento, disparo definitivo del transformador Santa Marta T-SMT09 220/110/34,5kV por todos sus niveles de tensión, señalizando "disparo por protección diferencial 87T".



Fig 7. Estado terminal cable Celda 34,5kV

#### 4. Análisis de riesgos

Para la toma de decisión se analizan los impactos desde la parte financiera, reputacional y humana. El análisis establece que teniendo en cuenta el impacto sobre el sistema y a fin de no afectar a los usuarios finales.



Fig 5. Evidencia estado de campana en Celda



Fig 6. Estado cable de potencia en Celda

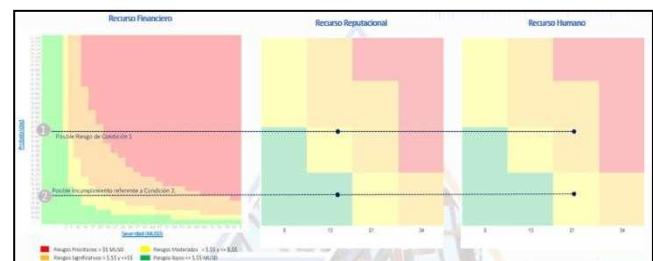


Fig 8. Esquema impacto análisis CRD

Calculado bajo la metodología de cuantificación del impacto reputacional caso: Exposición desfavorable local, regional aislada.

El impacto reputacional y operacional, por desenergización de las bahías en la subestación Santa Marta, viabilizan directamente los trabajos para normalizar la condición de los activos, teniendo en cuenta el impacto de gran magnitud que tiene

estos activos en una subestación Nodoprincipal como lo es la Subestación Santa Marta.

## 5. Metodología para la evaluación

La Eliminación de causas de riesgo – “ECR” Es un método sistemático de gestión de eventos no deseados dirigido a identificar, documentar y ELIMINAR las causas raíz de estos. Se trata de un proceso basado en hechos demostrables y auditables que permite proponer y adoptar acciones que eliminan las causas de las fallas humanas y de la organización.

### 5.1 Criterios de selección y aplicación de metodologías de eliminación de causa de riesgo – “ECR”

Son las condiciones con las que se evalúa el nivel de complejidad asociado al análisis de mejora que se desea realizar. Para este caso, son los criterios que se tienen en cuenta para caracterizar los eventos no deseados de acuerdo con el Impacto del mismo en el negocio Vs el Nivel de Esfuerzo requerido para analizar dicha situación indeseada.

De acuerdo con lo anterior para realizar la caracterización de los eventos no deseados, se tienen en cuenta los siguientes aspectos o variables considerados de interés para el negocio.

- Afectación al recurso humano.
- Afectación a la reputación.
- Afectación a la remuneración mensual.
- Afectación al medio ambiente.
- Impacto operativo.
- Costo de reparación o reposición

En la tabla a continuación se establece la relación entre el impacto del evento no deseado con tres niveles de esfuerzo para el análisis de este.

VARIABLE	ALTO Se aplica ARBOL LÓGICO	MEDIO Se aplica ISHIKAWA	BAJO Se aplica 5 Por qué?
AFECTACIÓN AL RECURSO HUMANO	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial la <b>pérdida de vidas</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un <b>accidente de trabajo</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un <b>cuasi-accidente de trabajo</b>
AFECTACIÓN A LA REPUTACIÓN	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <b>afecta la credibilidad</b> de la compañía a <b>nivel nacional e internacional</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <b>afecta la credibilidad</b> de la compañía a <b>nivel regional</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <b>afecta la credibilidad</b> de la compañía a <b>nivel local</b>
AFECTACIÓN A LA REMUNERACIÓN MENSUAL	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con impacto <b>mayor a 400 millones de pesos en la remuneración mensual</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con impacto que esté <b>entre 200 y 400 millones de pesos en la remuneración mensual</b>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con impacto <b>inferior a 200 millones de pesos en la remuneración mensual</b>
AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con <b>alta sensibilidad al deterioro ambiental</b> . Los efectos requieren medidas de manejo ambiental especiales y muy detalladas.	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con <b>sensibilidad media al deterioro ambiental</b> . Efectos reversibles y requieren el manejo de medidas ambientales de carácter específico.	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial con <b>baja sensibilidad al deterioro ambiental</b> . Los efectos requieren medidas generales de manejo ambiental.
IMPACTO OPERATIVO	Se generó directa o indirectamente una DNA superior a 138 MW ó 150 MWh	Se generó directa o indirectamente una DNA inferior a 138 MW ó 150 MWh y mayor a cero	El activo no generó ni es susceptible de generar DNA
COSTO REPARACIÓN O REPOSICIÓN	Situación con consecuencia potencial en <b>costo de reparación &gt;= 100 millones de pesos</b>	Situación con consecuencia potencial en <b>costo &lt; 100 millones y &gt;= 20 millones de pesos</b>	Situación con consecuencia potencial en <b>costo &lt; 20 millones</b>

Tabla 1. Criterios para la caracterización de eventos no deseados y selección del nivel de esfuerzo

De acuerdo con la metodología escogida y con los criterios para caracterización de eventos, el análisis se realiza mediante la metodología de **ARBOL LOGICO**.

El Árbol lógico, es una técnica deductiva que se centra en un evento no deseado para determinar las causas que lo han producido. Consiste en descomponer un suceso complejo en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos (fallos de componentes, fallas humanas y fallas organizacionales o de los sistemas - Procesos). Estadecomposición se realiza a través de un diagrama “De árbol” donde en la parte superior se encuentra en evento no deseado y sus ramas van indicando los hechos evidentes, hasta las causas que llevaron a la materialización de dichos hechos evidentes, colocándoles a cada rama contribuciones porcentuales, dependiendo del peso de estas que llevaron al evento.

El árbol de falla es la carta de navegación durante la ejecución del análisis.

## 6. Unidades evaluadas

Dentro del análisis de los riesgos, fue necesario recopilar la información de los activos en la subestación, para ser medidos e identificar sus modos de falla y correctivos asociados, a fin de evitar futuras fallas y salidas indeseadas en el sistema eléctrico de potencia. Los activos evaluados se relacionan a continuación:

SUBESTACION	TRIADA CABLE XLPE	CIRCUITO	NIVEL TENSION	DISTANCIA POR FASE	COLOR CHAQUETA EXTERIOR	PROTECCION UV	IINSTALADO INTEMPERIE	ATERIZAMIENTO PANTALLA
Santa Marta	Si	BONDA	35KV	150 mts	Rojo	NO	Solo afloramiento	En Fuente
Santa Marta	Si	GAIRA	35KV	170 mts	Rojo	NO	Solo afloramiento	En Fuente
Santa Marta	Si	T-SMT 10	35KV	60 mts	Rojo	NO	Solo afloramiento	En Fuente
Santa Marta	Si	T-SMT 9	35KV	180 mts	Rojo	NO	Solo afloramiento	En Fuente*

\*: Durante 10 años (2012 - 2022), la triada de cables de potencia estuvo aterrizada en ambos extremos

Tabla 2. Activos de la subestación SantaMarta evaluados dentro del ECR

## 7. Conclusiones y recomendaciones

- Con el análisis ECR realizado a estos activos, se implementó y se ejecutó un plan de acción para el cambio de los cables de potencia XLPE, los cuales no contaban con protección UV en la chaqueta exterior.
- Con el análisis y ejecución del cambio de los cables de potencia, se minimizaron los riesgos al sistema eléctrico de potencia y a las personas, incrementando la disponibilidad y confiabilidad de los activos en la subestación.
- Los resultados del ECR y el caso de negocio fue positivo, teniendo en cuenta que, se evitó daños mayores en los activos de la compañía y con impacto positivo en el sistema de potencia, por soluciones de mantenimiento producto de análisis de eliminación causa de riesgos.
- El análisis ECR, permitió realizar un análisis complementario y detallado sobre todos los cables de potencia instalados en la compañía y establecer planes de acciones preventivos

sobre ellos. Dentro de las recomendaciones se tiene:

- Realizar inventario de cables de potencia en instalaciones de Transelca sin protección contra rayos solares (SR SunLightResistant).
- En los cables de potencia instalados en la compañía e identificados sin protección contra rayos solares, realizar prueba VLF para verificar su estado e iniciar la gestión del cambio del tramo de cable expuesto (mitigar el riesgo).
- Revisar la estrategia de mantenimiento de los cables de potencia priorizando las pruebas VLF (Verv Low Frecuency) para determinar el estado del aislamiento del cable.
- Incluir en las características técnicas garantizadas y especificaciones técnicas de cables de potencia, las características SR(SunLight Resistant).
- Gestionar el ingreso en SAP, los documentos de medida resultado de las pruebas VLF(Tan delta y Capacitancia) de todos los cables de potencia.
- Cambiar los cables o tramos de cables de potencia instalados en Transelca sin protección contra rayos solares (SR SunLight Resistant)
- Estas soluciones están alineadas con la estrategia corporativa en relación con los aspectos de dirección de recursos externos e internos para desarrollar iniciativas que tengan impacto positivo y Desarrollo de líderes que afronten retos adaptativos y técnicos.

## 8. Referencias bibliográficas.

[1] RETIE, Publicación “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes”, ART. 3 – Definiciones.

**Luis Carlos Escaño Rodríguez**, ingeniero eléctrico de la Corporación Universitaria De La Costa, especialista en gerencia de proyectos de la universidad Tecnológica de Bolívar con más de 18 años de experiencia en el sector eléctrico. Actualmente labora como ingeniero de mantenimiento a equipos de subestación con énfasis en equipos inductivos (transformadores de potencia) en la empresa TRANSELCA S.A. E.S.P., participando en los procesos de planeación, operación y ejecución de mantenimiento y renovación de activos de subestaciones de media y alta tensión, todo esto con el fin de garantizar la confiabilidad, seguridad y disponibilidad de los equipos del Sistema de Transmisión de Energía Eléctrica, de acuerdo con la normatividad interna de la compañía y la regulación vigentes.

**Maria Beatriz Vergara Ochoa**, ingeniera electricista de la Universidad Del Norte en Barranquilla, con más de 8 años de experiencia en el sector eléctrico. Actualmente labora en la empresa TRANSELCA S.A E.S.P., como Analista de Evaluación del Mantenimiento de subestaciones eléctricas de alta tensión, encargada de evaluar y actualizar las estrategias de mantenimiento, administrar y ejecutar el mantenimiento a los equipos de corte, componentes de la infraestructura de la subestación, proyectos de innovación y renovación de activos, todo esto con el fin de garantizar la confiabilidad, seguridad y disponibilidad de los equipos del Sistema de Transmisión de Energía Eléctrica, de acuerdo con la normatividad interna de la compañía y la regulación vigente.

---