



DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESPECIALIZADO DE ANOMALÍAS OPERATIVAS EN LOS RELÉS DE PROTECCIÓN DISTANCIA EN LA RED DE ISA - INTERCOLOMBIA

JHONATAN MANUEL ANAYA MONTERROZA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2017**

**DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESPECIALIZADO DE
ANOMALÍAS OPERATIVAS EN LOS RELÉS DE PROTECCIÓN DISTANCIA EN
LA RED DE ISA-INTERCOLOMBIA**

JHONATAN MANUEL ANAYA MONTERROZA

**Trabajo de grado para optar al título de especialista en sistemas transmisión
y distribución de energía eléctrica**

**Director:
JHON ALBEIRO CALDERÓN SERNA
Msc Ingeniería de Sistemas.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2017**

Notas de aceptación

Firma:
Nombre:
Presidente del Jurado

Firma:
Nombre:
Presidente del Jurado

Firma:
Nombre:
Presidente del Jurado

Medellín, 15 de Marzo de 2017

DEDICATORIA

A mi familia por enseñarme a perseguir mis sueños

A mi esposa por ser mi apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Jhon Albeiro Calderón por animarme a finalizar este proyecto.

A ISA-INTERCOLOMBIA por permitirme conocer conocimientos que focalizaron mi trabajo de grado.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme conocer sus conocimientos adquiridos a través del profesorado y dispuestos para mí a favor del desarrollo profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1	ALCANCE Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1	JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS	4
1.2	OBJETIVOS.....	5
1.2.1	Objetivo general	5
1.2.2	Objetivos específicos.....	5
1.3	METODOLOGÍA	9
1.4	ORGANIZACIÓN DEL TEXTO	10
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (ESTADO DEL ARTE).....	11
3	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ANOMALÍAS.....	14
3.1	ANÁLISIS DE CAUSA APARENTE (ACA)	14
3.2	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA).....	16
3.2.1	Método Árbol de Falla (FTA)	17
3.2.2	Método Causa efecto	19
3.2.3	Método Kepner – Tregoe (K-T).....	20
3.2.4	Método Análisis de tareas	21
3.2.5	Método Análisis de Cambio	23
3.2.6	Método Análisis de barreras	24
3.2.7	Método Árbol Lógico	25
4	METODOLOGÍA PROPUESTA DE ANÁLISIS DE ANOMALÍAS RELÉS DE PROTECCIÓN DISTANCIA	27
4.1	RECOPILAR E IDENTIFICAR LOS CASOS DE ESTUDIO	27
4.2	PRIORIZACIÓN DE CASOS	28
4.3	ANÁLISIS DE CASOS.....	30
4.4	IDENTIFICAR LAS ACCIONES DE MEJORA Y/O CORRECTIVOS	31
4.5	VERIFICACIÓN ACCIÓN DE MEJORA Y DIVULGACIÓN.....	32
5	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	33
5.1	RECOPILACIÓN DE ANOMALÍAS.....	33
5.2	PRIORIZACIÓN Y PONDERACIÓN DE CASOS	34
5.3	ANÁLISIS DE CASOS.....	35
5.3.1	Esfuerzo bajo y dedicación baja: Caso 17	35
5.3.2	Esfuerzo medio y dedicación baja: Caso 19	36
5.3.3	Esfuerzo alto y dedicación baja: Caso 3.....	37
5.4	IDENTIFICAR LAS ACCIONES DE MEJORA Y/O CORRECTIVOS	40
5.4.1	Esfuerzo bajo y dedicación baja: Caso 17	41

5.4.2	Esfuerzo medio y dedicación baja: Caso 19	42
5.4.3	Esfuerzo alto y dedicación baja: Caso 3.....	42
5.5	VERIFICACIÓN ACCIÓN DE MEJORA Y DIVULGACIÓN.....	43
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
7	CONCLUSIONES.....	46
8	OPORTUNIDADES A TRABAJOS FUTUROS	47
9	BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1:	Propuesta Metodológica..... 8
Figura 2:	Método de análisis “escalera del por qué” 15
Figura 3:	Método de análisis “árbol de falla” (Stamatelatos et al., n.d.) (NERC, 2011)..... 18
Figura 4:	Método de análisis “espina de pescado”(NERC, 2011) 19
Figura 5:	Método de análisis “K-T” (NERC, 2011) 21
Figura 6:	Método Análisis de barreras(Martínez U, 2012)..... 25
Figura 7:	Método de análisis “árbol lógico” 26
Figura 8:	Metodología propuesta simplificada 27
Figura 9:	Metodología propuesta simplificada 29
Figura 10:	Análisis Caso 17 – método “escalera de porqué” (A)..... 35
Figura 11:	Análisis Caso 17 – método “escalera de porqué” (B)..... 36
Figura 12:	Análisis Caso 19 – método “espina de pescado (B) 37
Figura 13:	Análisis Caso 3 – Línea de tiempo A 38
Figura 14:	Análisis Caso 3 – Línea de tiempo B 39
Figura 15:	Análisis Caso 3 – Línea de tiempo C 39
Figura 16:	Análisis Caso 3 – Método de árbol lógico 40
Figura 17:	Caso 17 – Acciones de mejora (A) 41
Figura 18:	Caso 17 – Acciones de mejora (B) 41
Figura 19:	Caso 19 – Acciones de mejora 42
Figura 20:	Caso 3 – Acciones de mejora 42
Figura 18:	Caso 16 – Análisis a través de “espina de pescado” y Acciones de mejora a seguir..... 52
Figura 18:	Caso 11 – Análisis a través de “escalera por qué” y Acciones de mejora a seguir 53
Figura 18:	Caso 12 – Análisis a través de “escalera por qué” y Acciones de mejora a seguir 54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Análisis de tareas – papel y lápiz.....	23
Tabla 2: Método de Análisis de cambio.....	23
Tabla 3: Priorización de casos – Matriz técnica.....	28
Tabla 4: Proporción de casos – Matriz de proporcionalidad	30
Tabla 5: Matriz de Priorización de mejoras a implementar	31
Tabla 6: Recopilación de casos de anomalías	33
Tabla 7: Priorización de casos – Matriz técnica.....	34
Tabla 8: Ponderación de casos – Matriz de ponderación	35
Tabla 9: Priorización de acciones de mejoras a implementar	43
Tabla 10: Comparativo de la metodología propuesta con el análisis especializado actual de las anomalías	44

GLOSARIO

ANOMALÍA: Según la Real Academia Española, una anomalía se refiere a un defecto de forma o de funcionamiento y a la desviación o discrepancia de una regla o de un uso. Para los equipos de protección en particular, se trata de problemas presentes en los relés que generan operación indeseada en el sistema eléctrico de potencia.

GRUPO SPAT: Grupo de ISA-INTERCOLOMBIA que hace parte de la Dirección Mantenimiento y se encarga de la gestión de equipos asociados a los sistemas de Protección, Automatización y Telecomunicaciones.

PROTECCIÓN DE DISTANCIA: Los relés de distancia son dispositivos multifuncionales que monitorean las cantidades - magnitud/fase - de la corriente y tensión en un punto específico de la red. Con los cálculos, realizados de Tensión/Corriente, se determina el tipo y ubicación de la falla. Este tipo de protección se implementa normalmente en líneas de transmisión de media, alta y extra alta tensión.

SAP: Sistema informático global utilizado en ISA – INTERCOLOMBIA para gestionar aplicaciones y procesos tales como Operación, mantenimiento, administración, aprovisionamiento, entre otros. En este sistema, dentro del módulo de mantenimiento, se consignan las anomalías registradas en los equipos de protección. Las siglas de este sistema informático, corresponden a Systems, Applications, Products in Data processing.

SIGO: Sistema de Gestión de la Operación. A través de este sistema se gestiona la operación del Sistema de Transmisión de ISA - INTERCOLOMBIA. Entre las distintas actividades disponibles en el sistema, se tiene el seguimiento de las anomalías en los equipos de protección.

SIPOC: El diagrama que por sus siglas en ingles indica Suppler (Proveedor) – Input (Recursos) – Process – Outputs (Proceso) – Customer (Cliente). Esta es una representación gráfica de un proceso de gestión. La visualización de mismo, permite mostrar el proceso de manera sencilla.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL (STN): Sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica conformado por el conjunto de líneas, transformadores, reactores, compensadores, entre otros equipos especiales, que operan a tensiones iguales o superiores a 230 kV.

LISTA DE SIGLAS

AC: Corriente alterna

ANSI: American National Standards Institute

DO: Dirección Operación de ITCO

DM: Dirección Mantenimiento de ITCO

ECR: Análisis Eliminación de Causa Raíz

FTA: Fault Three Analysis

IED: Intelligent Electronic Device

IEC: International Electrotechnical Commission

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ISA: Interconexión Eléctrica S.A.

ITCO: INTERCOLOMBIA S.A

kV: kilovoltio

LT: Línea de transmisión

POTT: Permissive Overreaching Transfer Trip

M5: Avisos donde se consigna la solicitud de análisis especializado por anomalía de una protección.

NERC: North American Electric Reliability Corporation

RE: Entidades Regionales adscritas a la NERC y que buscan el mejoramiento del sistema eléctrico de potencia de Estados Unidos y Canadá.

SAP: Systems, Applications, Products in Data processing

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia.

SIGO: Sistema de Gestión de la Operación

SOE: Sequence Of Events

STN: Sistema de Transmisión Nacional

T&D Transmisión y Distribución

ÚNICO: Sistema de planes de mejoramiento

LISTA DE SÍMBOLOS

21	Función de protección de distancia
67N	Función de sobrecorriente direccional
79	Función de recierre
68	Función de oscilación de potencia
kV	kilovoltios
kA	kiloamperios
A:	Amperios
°	Grados
Ω	Ohmios
m	Metros
%:	Porcentaje
CT	Transformador de corriente
TP	Transformador de Potencial
pu	Por Unidad
R_F	Resistencia de falla
ms	Milisegundo
MW	potencia activa
MVA_r	potencia reactiva
V:	Voltios
VA:	Voltamperios

RESUMEN

El presente proyecto hace referencia a la aplicación de una metodología estructurada para realizar los análisis especializados de las anomalías operativas de los relés de protección distancia (particularmente los avisos M5 de SAP), en caso especial de los relés utilizados normalmente en la red de ISA – INTERCOLOMBIA. Con lo anterior, se pretende avanzar en el conocimiento a través de un proceso de mejora continua en los sistemas de protección de líneas de transmisión de alta y extra alta tensión.

La metodología puede ser ampliada para su aplicación para cualquier tipo de marca de equipos de protección y sistema de transmisión de energía eléctrica, sin embargo, el trabajo realizado en el presente proyecto sólo será realizado para dos referencias frecuentemente utilizadas en la red de ISA (SIEMENS y ABB). La idea principal, es implementar la metodología de análisis para obtener un resultado práctico, sistemático y organizado de resolución de anomalías de relés de protección que impliquen un estudio especializado de parte de los analistas del sistema (Grupo SPAT).

El estado del arte de los análisis realizados, está basado en la experiencia dedicada en el día a día de la operación y mantenimiento del sistema eléctrico nacional y en la consulta bibliográfica de los análisis realizados a incidentes y accidentes en compañías de energía eléctrica, especialmente de la red de ISA – INTERCOLOMBIA. En donde se encontró, que los análisis especializados (avisos M5 de SAP) son tratados considerando la experiencia que sustentan los analistas eléctricos. En el marco de mejora continua de la empresa, se describe una metodología de análisis para eventos que generan altos impactos en la red y que se traducen en lecciones aprendidas de mejora de procesos. Por tanto, con el objetivo de generar un conocimiento más estructurado y elaborado, se pretende realizar una metodología de análisis de anomalías en relés de protección distancia.

Paralelamente con el desarrollo de la metodología, se tiene un objetivo específico de recopilar las anomalías detectadas de los relés de protección (referencias seleccionadas). Estas se convierten en insumo de partida para los análisis que se pretenden mejorar.

Finalmente, se valida la metodología con casos reales de eventos ocurridos en el sistema eléctrico de potencia y en su desarrollo presentar sus distintas etapas.

Palabras claves: protección de distancia, anomalías, análisis especializado, causa – raíz, mejora continua, lecciones aprendidas.

ABSTRACT

This project presented a structured methodology to carry out the specialized analysis of operational anomalies in distance protection relays (specifically specialized requirement – M5). The focus of equipment were relays normally used in ISA network in Colombia – INTERCOLOMBIA. Consequently it is tried to advance in the continuous improvement of protection system in high voltage transmission lines.

Proposal methodology can be extended to apply to any type of protection equipment. However, this project will only be for two references frequently used in ISA network (SIEMENS and ABB). The main idea will be to implement the analysis to obtain a practical, systematic and organized result of solving protection relay anomalies. At the moment, the state of art of analyzed is based on the experience dedicate in the day to day operation and maintenance of electric power system in Colombia.

Keywords: distance protection, anomalies, specialized analysis, root – cause, continuous improvement and lessons learned

INTRODUCCIÓN

A través de la historia de ISA-INTERCOLOMBIA, se han utilizado equipos de protección eléctrica de diversos tipos, entre ellos, electromecánicos, de estado sólido, electrónicos y los últimos del tipo multifuncionales. Dependiendo de la época y el conocimiento de los sistemas de potencia, se ha avanzado en el desarrollo de cada tipo de tecnologías en la compañía. Con la operación y mantenimiento de los elementos del sistema eléctrico de potencia, se ha adquirido además la experiencia necesaria para el manejo de estos equipos, conociendo así sus fortalezas y debilidades operativas (C & Gutiérrez, n.d.) (Castaño & Gutiérrez, n.d.) (R, G.K, & M.L.B, n.d.) (Montané, n.d.) (Ratan Das & Mital Kanabar, December).

Como parte de un proceso de preselección técnica, en ISA – INTERCOLOMBIA se desarrolló un proyecto de homologación de protecciones y consistió en la realización de pruebas de inyección digital secundaria a varios tipos de relés de protección de líneas con el objetivo de evaluar el desempeño de sus algoritmos internos. Lo anterior, permitió seleccionar las mejores opciones técnicas del mercado y se disminuyó la incertidumbre en la adquisición de equipos nuevos. Además, se logra conocer el desempeño de las protecciones en el sistema de transmisión nacional (STN) (Gutiérrez, Castaño, & Vásquez, n.d.).

Como resultado del proceso de homologación y la experiencia operativa de los últimos años en la operación de los relés de protección de línea, se tiene un conjunto de eventos que se consideran anomalías de los equipos de protección y que se pretenden presentar para su análisis. Cabe anotar, que una anomalía es una limitante a la operación de un equipo puesto que no permite el correcto desempeño del mismo ante condiciones del sistema. Por lo anterior, es de especial importancia conocer y analizar los problemas que acometen los usos de estos equipos de protección en el STN (Mohamed A, 2012).

El desarrollo y análisis especializado de las anomalías en ISA – INTERCOLOMBIA parte del análisis post operativo elaborado por el grupo de análisis de

perturbaciones de la DO y para los casos donde se detecten anomalías sin causa determinada o el equipo de protección opere de manera errónea, es comunicada al grupo de la DM – SPAT el cual realizará un análisis especializado del inconveniente (se genera aviso M5 en SAP). El análisis consiste de simular las condiciones del sistema una vez ocurrió la perturbación y a través de los registros oscilo gráficos, análisis de lógicas y pruebas de laboratorio, se establece la raíz del problema que da lugar a la anomalía.

Con el objetivo de tener una mejor estructuración durante el manejo de los análisis especializados de anomalías, se tienen disponibles diversas metodologías para elaborar el mismo (Vorley, n.d.).

1 ALCANCE Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo, se presenta el alcance y la propuesta metodológica seguida para el desarrollo del presente proyecto. La metodología de transmisión y distribución será la utilizada para la elaboración del proyecto de tesis. Por lo tanto, se desarrollan los procesos de identificación del problema, raíces, elementos, perceptores, declaración del problema investigativo y finalmente se genera el mapa de investigación.

El tema del proyecto, se enmarca dentro del proceso de mejora continua de la compañía, ofreciendo análisis especializados más elaborados y estructurados. Las anomalías de las protecciones, es un asunto de continuo aprendizaje de los fenómenos que acometen los sistemas eléctricos de potencia. Los equipos de protección mientras tanto, paralelamente tratan de mejorar sus algoritmos para lograr tener un balance de seguridad y confiabilidad.

1.1 JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS

Los esquemas de protección de líneas de transmisión utilizados en ISA – INTERCOLOMBIA, se constituyen de protecciones multifuncionales (principales y respaldo) con principios de funcionamiento diferentes y en lo posible de distintos fabricantes. Estas funciones de protección, dispuestas en cada equipo de protección, ofrecen una seguridad y selectividad ante eventos o perturbaciones en la red y garantizan con su correcta operación la estabilidad del sistema de potencia.

Con el transcurrir de los años y conjuntamente con el mejoramiento en el conocimiento de los sistemas de potencia, los fabricantes de equipos de protección han mejorado sus algoritmos de funcionamiento; sin embargo, las perturbaciones ocurridas en el día a día operativo de la red, muestran vacíos o inconvenientes en los diseños y en los equipos de protección, que en definitiva se convierten en nuevos retos de desarrollo para la mejora continua de los sistemas de protección (en especial de los sistemas secundarios de las líneas de transmisión eléctrica).

Estos inconvenientes o anomalías en el funcionamiento de los relés de protección, son detectados con un análisis post falla a través de los registros de las variables del sistema (corrientes, y tensiones) grabadas y almacenadas en los IEDs, y en los datos obtenidos de sistemas globales. En caso que la operación del IED, sea de manera incorrecta ante la ocurrencia, se deberá realizar un análisis aún más especializado.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, es necesario conocer, recopilar, priorizar y gestionar las anomalías en los equipos de protección que generen algún tipo de impacto en el sistema eléctrico Nacional –STN, a fin de mejorar progresivamente la confiabilidad del sistema de transmisión eléctrica de ISA en Colombia.

La motivación principal para la realización de este estudio, se concentra en el avance continuo del proceso de análisis especializado propio de las anomalías de las protecciones del STN (especialmente los avisos M5 del sistema SAP). El desarrollo de las mismas, requiere una estructuración que permita llegar de manera sistemática a las causas – raíces de los problemas.

1.2 OBJETIVOS

A continuación se muestran los objetivos generales y específicos a desarrollar en el presente trabajo.

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología para realizar los análisis especializados de anomalías operativas en los relés de protección distancia de ISA – INTERCOLOMBIA.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar las anomalías operativas existentes en las protecciones distancias (se seleccionan las siguientes referencias, SIEMENS – 7SA612/7SA87 y ABB – REL670).

- Priorizar las anomalías operativas existentes
- Desarrollar la metodología para realizar el análisis especializado de las anomalías (avisos M5 sistema SAP)
- Validación de la metodología a través de casos reales ocurrido en el sistema eléctrico nacional.

A continuación se relacionan las raíces técnicas, económicas y operativas establecidas para la realización del proyecto según la metodología T&D.

Raíces Técnicas

- El comportamiento correcto de los esquemas de protección en los relés distancia, se ven alterados por vacíos en los diseños y/o inconvenientes en los algoritmos de funcionamiento de la protección. Estos detalles, se hacen evidentes una vez ocurren eventos reales en el sistema y podrían generar pérdida de estabilidad, energía no suministrada y en el peor de los casos daños en la integridad de equipos y personas.
- Es necesario buscar, recopilar y realizar análisis especializado de las anomalías presentes en los relés distancias. En esta labor, se tiene la necesidad de priorizar los eventos e identificar cuáles requieren medidas rápidas y aquellos que necesitan intervención de fabricantes.

Raíces Económicas

- Los costos incurridos por las malas operaciones de los relés distancia, generan indisponibilidades de los activos protegidos.

- Mantener la reputación de la empresa. En caso de eventos que afecten la integridad de equipos, personas y generen energía no suministrada, implementar planes de mejora para que estos no vuelvan a ocurrir.

Raíces Operativas

- Las anomalías en los relés de protección complican los análisis post operativos, puesto que implican tiempos adicionales para conocer el por qué operó fuera de la lógica requerida.

Raíces Metodológica

- Es necesario establecer una metodología que permita estructurar los análisis especializados y detectar de manera rápida las causas y raíces de las anomalías en los relés de distancia instalados en el sistema.

A continuación se muestra el mapa de investigación con los tópicos principales de la metodología de tesis utilizada en el presente documento.

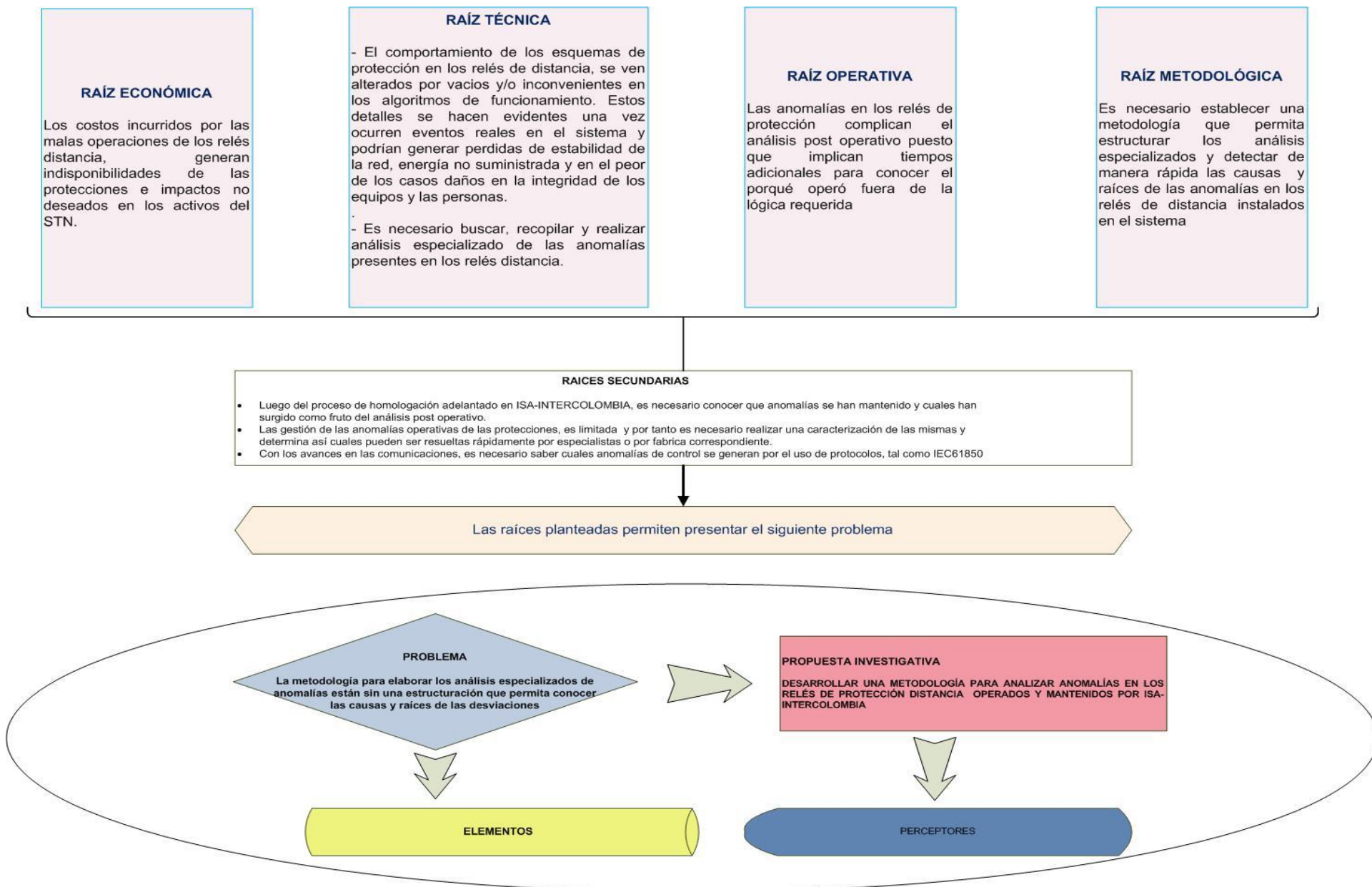


Figura 1: Propuesta Metodológica Desarrollada¹

¹ Fuente: Elaboración Propia, propuesta metodológica a desarrollar en la TDG.

1.3 METODOLOGÍA

La metodología para la realización de este trabajo debe cumplir con los objetivos específicos planteados anteriormente y se describe a continuación:

- Realización de la búsqueda de información de las metodologías de análisis a utilizar. Adicionalmente, recopilar la información disponible de las anomalías encontradas hasta el momento en los relés distancia.
- Recopilación de las anomalías disponibles y priorización de las mismas.
- Elaboración de metodología a implementar en los análisis especializados de las anomalías (análisis especializados de los avisos M5).
- Implementar la metodología en casos reales y validar estos con casos resueltos con la manera de realizar el análisis actualmente.
- Analizar resultados para elaboración de conclusiones y generar ideas para trabajos futuros.
- Evaluación del documento final por parte del director del proyecto.
- Presentación y entrega del informe final para aprobación.
- Entrega del material final en biblioteca.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL TEXTO

Este documento está compuesto por 8 capítulos de los cuales se hace una breve descripción a continuación.

El capítulo 1 contiene una descripción del trabajo de investigación planeado estableciendo el alcance, definición del problema, justificación, beneficios, los objetivos generales y específicos y la metodología con la cual se desarrolló el trabajo.

El capítulo 2 contiene una breve revisión bibliográfica o estado del arte, un análisis de las principales referencias tenidas en cuenta para la realización de este proyecto de investigación.

El capítulo 3 contiene una breve fundamentación teórica sobre los métodos de análisis que podrían aplicarse en una solución de una anomalía operativa.

El capítulo 4 se presenta la metodología propuesta para el análisis de las anomalías.

En el capítulo 5 se presenta la recopilación de las anomalías para una referencias seleccionadas de protecciones (SIEMENS – 7SA612/7SA87 y ABB – REL670).

En el Capítulo 6 se hace un análisis utilizando la metodología propuesta y en el capítulo 7 se valida con el obtenido sin utilizar la metodología (análisis de los resultados encontrados).

Capítulo 8 se presentan las conclusiones y en el capítulo 9, las oportunidades de estudio para trabajos futuros.

Finalmente en el capítulo 10 se presenta la bibliografía con las referencias utilizadas durante el desarrollo del presente trabajo.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA (ESTADO DEL ARTE)

El proceso de análisis especializado de las anomalías operativas de las protecciones eléctricas, está enmarcado en el sistema integrado de gestión de la compañía ISA - INTERCOLOMBIA, a través de un macro-proceso de mantener el sistema y luego de un proceso de evaluar y controlar el mantenimiento de la red. Así mismo, inmerso en este, hay un subproceso de implementar mejoras en los equipos. En este último, se muestra claramente la actividad de análisis de avisos M5 (requerimiento de acción técnica de mejora) por medio del SIPOC MR03SIPOC32-V3 (Mejía, Santana, & Equipos, 2014).

Los avisos M5 son creados por distintas formas, entre las cuales se tienen:

- Implementación estrategia de mantenimiento
- Reclamación de garantías
- Investigación e incorporación de nuevas tecnologías
- Transferencia de nuevas tecnologías
- Definir y desarrollar formación técnica
- Crear, ajustar y revisar especificaciones técnicas
- Análisis especializados de anomalías.

La creación de avisos M5 por requerimientos de análisis especializados de anomalías operativas, tiene su origen en un evento cualquiera ocurrido en la red. Este último es tratado y evaluado inicialmente por un grupo de analistas (DO) y los mismos comparan el comportamiento ideal del real, generando así las desviaciones o anomalías en los equipos del sistema. Las anomalías generadas a equipos de protección, son aquellas donde los relés instalados operan de manera diferente a como se pretende y necesitará de un análisis aún más especializado para saber a qué se debe su actuación.

En ISA - INTERCOLOMBIA, los análisis especializados de anomalías (avisos M5 generados en SAP internamente en la empresa) de relés de protección, son realizados dependiendo de la experiencia propia del analista y queda consignado a través de un reporte donde se muestra la causa y las acciones correctivas. Sin embargo, el proceso realizado no está lo suficientemente estructurado y documentado. En general, el proceso se resume a continuación:

- Se recibe solicitud de análisis especializado
- Se analiza lo ocurrido basándose esencialmente de los datos y registros recopilados de los equipos de protección, registradores de fallas y SOE.
- Se revisa el análisis presentado por el grupo de post – operativo (DO)
- Se verifica la lógica de los equipos
- Se genera consulta a fabricantes
- Se realizan pruebas de laboratorio
- Se generan acciones y recomendaciones

Con el desarrollo de alguna o todas las actividades anteriormente expuestas, se tiene una alta probabilidad de encontrar la raíz de problema.

En Colombia, a través del organismo que gestiona el STN – XM, se desarrolló un plan de defensa para el sistema de potencia colombiano. Este comenzó inmediatamente después del colapso del sistema en el 2007 y ha continuado en los últimos años. El plan desarrollado, consistió en analizar perturbaciones en el sistema para identificar mejoras en la planeación, operación y aspectos de protección del STN. Como resultado del proceso de análisis de los eventos (64 eventos seleccionados para analizar) y de la metodología utilizada, se obtuvieron las recomendaciones a implementar en los próximos 5 a 10 años (Vélez, Elizondo, & Ward, n.d.).

En otras empresas del sector eléctrico en Colombia, igualmente se realiza un análisis de las anomalías operativas, pero se tienen deficiencias con las anomalías que requieren un análisis aún más especializado.

La NERC, una corporación que asegura la confiabilidad y seguridad del sistema de potencia en Norte América, Canadá y la porción norte de baja california – México. Contiene dentro de sus programas y departamentos, el área de Reliability Assessment & Performance Analysis, donde se tiene la base para generar las recomendaciones y acciones en el sistema de potencia gestionado por ellos. La corporación y los comités adjuntos (CCC, CIPC, OC, RISC, SC, PCGC, PC y otros) tienen un tratamiento robusto para asegurar la confiabilidad del sistema de potencia. Enfocándose especialmente en la sección de Performance Analysis, la NERC publica reportes que analizan (realizados por las RE) el desempeño del sistema y los mismos desarrollan metodologías de análisis estructurados para encontrar la causas y raíces de los problemas (NERC, 2011) (NERC, 2014) (NERC, 2015) .

Con la perspectiva local e internacional, se demuestra que los análisis a los eventos en el sistema de potencia son una base primordial para tener un mejoramiento continuo del desempeño de la red. Así, se provee una retroalimentación de la integridad del sistema de potencia y en consecuencia de sus sistemas de protección asociados (Ibrahim, 2012).

En el capítulo siguiente, se empezará a conocer la base teórica de la cual se fundamentará la metodología a proponer. En general, se realizará una focalización de los distintos métodos encontrados para analizar las anomalías presentes en eventos y circunstancias del día a día.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ANOMALÍAS

A continuación, se muestran algunos métodos y herramientas de análisis que ayudan a determinar las causas y las deficiencias latentes de un sistema eléctrico de potencia. Todos los métodos, buscan acercarse a soluciones (acciones correctivas) que permitan eliminar causas y factores catalizadores de fallas, previniendo así eventos o fallas recurrentes.

“Los eventos no son típicamente el resultado de la acción de una persona. Comúnmente, es el resultado de una combinación de fallas en las actividades de la dirección y la organización.” (Barry A & Nick F, 1997)

3.1 ANÁLISIS DE CAUSA APARENTE (ACA)

Una causa aparente, es definida como una determinación basada en el juicio y experiencia del evaluador, y donde se esfuerza por determinar el “por qué” del problema ocurrido. El énfasis de un ACA, es primordialmente corregir un hecho particular o inconveniente, sin un esfuerzo especial para identificar el trasfondo o la dificultad del proceso que puede estar contribuyendo al problema. Varias herramientas pueden ser usadas para lograr un ACA, y una de ellas es la “escalera del por qué”

La “escalera del por qué” es un método usado para ayudar a determinar las causas aparentes para eventos que no requieren análisis causa – raíz. Este se basa en preguntas sobre el evento ocurrido. No hay una técnica especial requerida, pero los resultados pueden quedar consignados como se muestra a continuación:



Figura 2: Método de análisis “escalera del por qué”²

Las preguntas frecuentes durante el desarrollo del método podrían ser las siguientes:

- Escribir la sentencia del problema
- Por qué ocurrió el “problema expuesto inicialmente”?
- Por qué ocurrió el “por qué” previo?
- Por qué ocurrió el “por qué” previo?
- Por qué ocurrió el “porque” previo?
- Continuar preguntando el “por qué” hasta las acciones correctivas, sin tener en cuenta, cuantos “por qué” hayan lugar (NERC, 2011).

² Fuente: Elaboración propia

Para problemas más complejos, pueden generarse varias ramas o múltiples “escaleras del por qué”. Lo esencial en el método es seguir preguntando hasta que no existan causas adicionales.

3.2 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ (RCA)

Un RCA busca descubrir la causa o causas (condiciones fundamentales) que, si se corrigen, podrían prevenir la recurrencia de una acción inapropiada o la falla de un equipo. El método de causa raíz, no solo es para una ocurrencia, tiene implicaciones para un grupo amplio de casos, por lo cual, es un aspecto fundamental encontrar causas básicas dentro del problema y lograr tomar medidas correctivas. Con el análisis, pueden encontrarse una serie de causas o guiar a otras hasta encontrar las fundamentales (NERC, 2011).

Típicamente, el RCA es realizado por personas que han sido capacitadas en varios métodos de análisis de causa raíz. Por lo tanto, un RCA es simplemente la aplicación de una serie de técnicas o herramientas para la identificación, comprensión y resolución de las causas detectadas (Vorley, n.d.).

Los pasos típicos para el análisis RCA son:

- Reunir equipo de trabajo
- Desarrollar el alcance (definir el problema)
- ¿Cuál es el problema y los efectos que se pretenden no se repitan?
- ¿Cuándo y dónde sucedió?
- ¿Cuál fue el significado del evento?. Es relativo al valor del evento en la empresa, la red o la región. Con lo anterior, se tiene conocimiento de la importancia del problema.
- Recopilar los datos pertinentes al problema
- Reconstruir el problema usando la información recopilada
- Analizar el evento para determinar las acciones
- Realizar un análisis causa raíz utilizando una técnica o método apropiado
- Desarrollar acciones correctivas
- Proveer divulgación al personal

Durante el análisis de causa raíz podrían utilizarse diversas técnicas o herramientas, entre las cuales se tienen las siguientes:

3.2.1 Método Árbol de Falla (FTA)

El método se originó en 1960 dentro de los programas de aeroespacial y misiles de estados unidos de américa y es uno de los más importantes para valorar el riesgo y la confiabilidad en un sistema. A mediados de los sesentas, se hizo ampliamente popular la técnica y en el proyecto Apollo, se preguntaba por la probabilidad exitosa de enviar astronautas a la luna y retornar sin problemas a la tierra (Stamatelatos, Caraballo, & Vasely, n.d.).

La NASA se convenció de tener más análisis de riesgo o confiabilidad hasta después del accidente del Challenger en 1986 y por consiguiente, confiar en el uso de análisis de efecto y otros métodos para valorar la seguridad en los sistemas. Por otro lado, la industria nuclear, comenzó a valorar el riesgo luego del accidente en la isla Three Mile en 1979 y en 1981, la NRC emite el manual de árbol de falla – NUREG-0492 (actualmente se tiene una actualización del manual (Stamatelatos et al., n.d.)).

El árbol de falla puede ser descrito como una técnica analítica, donde se especifica un estado no deseado del sistema (usualmente un instante crítico de seguridad y confiabilidad), y se analiza en el contexto de su ambiente y operación, para detectar todas las formas realistas que generen la ocurrencia. El árbol de falla, es un modelo gráfico de varias combinaciones en paralelo y secuenciales de fallas que resultan de incidentes no deseados. Los eventos asociados, pueden ser por componentes físicos, errores humanos, errores en programación, o algún hecho que genere un suceso no deseado.

Los análisis de árbol de falla, son usados cuando se trata de seleccionar entre múltiples modos de fallas posibles. Esta herramienta requiere un buen conocimiento del sistema y de sus componentes, para determinar las causas raíces en el sistema. Cada causa raíz es probada y verificada hasta que la principal se determine. Los

árboles de falla, incluyen algebra booleana (compuertas AND, OR, NOT, entre otras) para ayudar a analizar la probabilidad de un evento.

Los pasos para la construcción de un FTA son:

- Seleccionar el evento a analizar
- Encontrar todos los niveles más bajos de fallas que puedan causar el evento
- Mostrar lo anterior en un diagrama “árbol” y conectar con lógica booleana
- Buscar los niveles de falla intermedios que pueden generar el evento
- Realizar el análisis
- Identificar y priorizar acciones de mejora

A continuación, se muestra ejemplos de árbol de falla

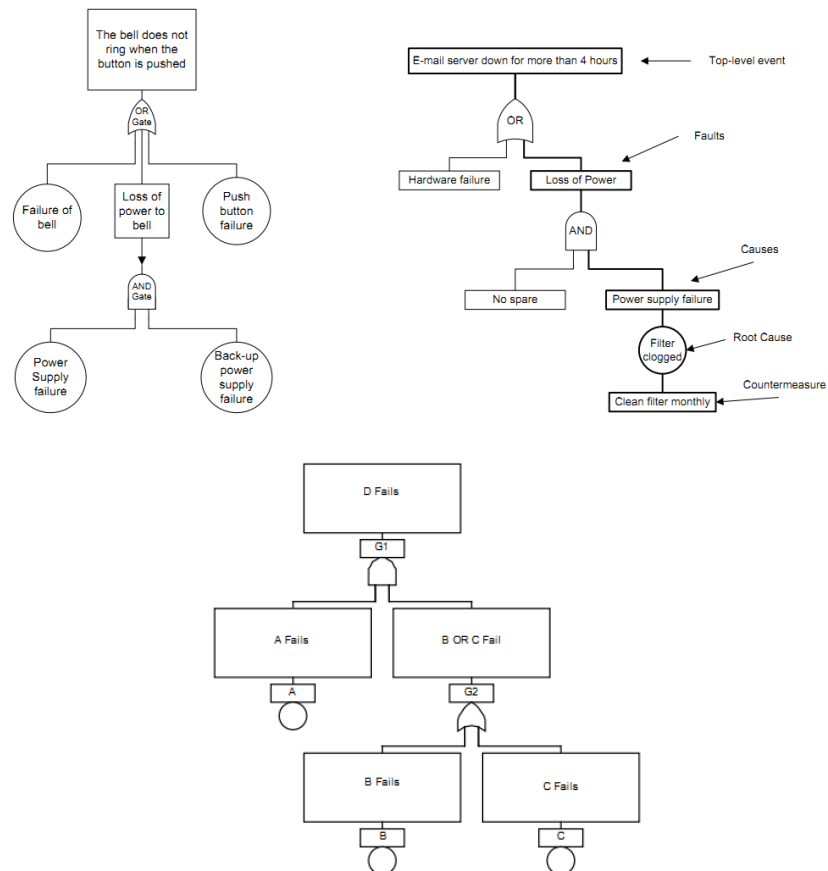


Figura 3: Método de análisis “árbol de falla” (Stamatelatos et al., n.d.) (NERC, 2011)

3.2.2 Método Causa efecto

El diagrama de causa efecto se refiere al diagrama de “espina de pescado” o Ishikawa. Este sistemáticamente organiza información en categorías para determinar las causas potenciales de problemas. El método se muestra a continuación:

- Dibujar el diagrama “espina de pescado”
- Describir el problema en la cabeza del pescado
- Nombrar cada espina del pescado para ayudar el análisis.
- Usar alguna técnica para generación de ideas (lluvia de ideas) para identificar las posibles causas en cada categoría.
- Para cada una de las causas preguntar ¿por qué sucedió esto?, agregar una flecha en la espina apropiada hasta obtener información útil.
- Cuando se completa, el diagrama muestra las posibles causas. Seleccionar las causas en más de una categoría y verificarlas.

A continuación, se muestra un ejemplo de un diagrama construido.

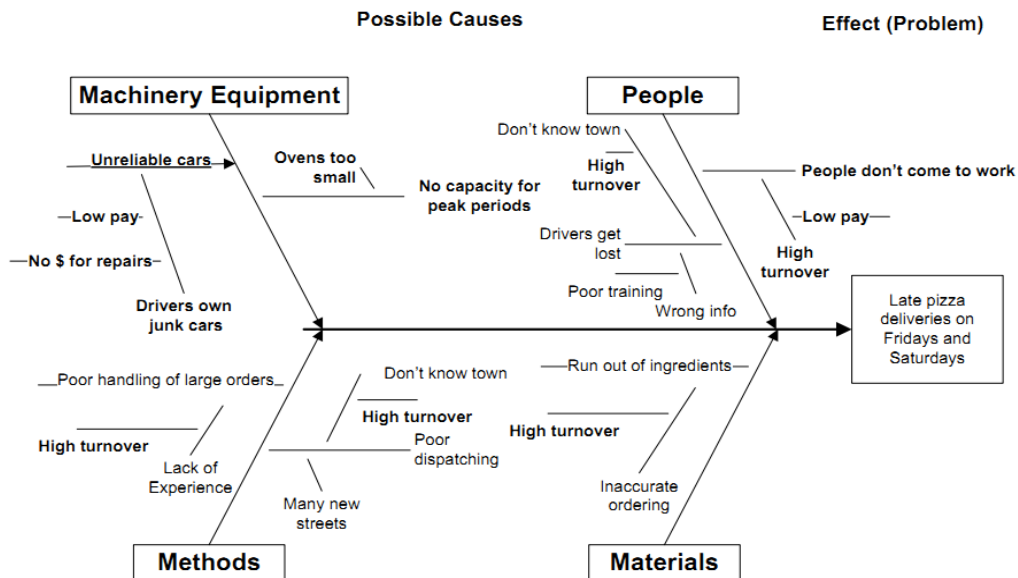


Figura 4: Método de análisis “espina de pescado”(NERC, 2011)

3.2.3 Método Kepner – Tregoe (K-T)

El método de análisis K-T, es una técnica avanzada para la determinación causa – raíz y es una de las más efectivas para encontrar problemas en equipos. La efectividad de esta técnica requiere la deliberación y puede ser realizada con la participación directa de un experto o un panel de expertos.

Es esencial realizar la técnica considerando el siguiente orden:

- Estado de la desviación
- Especificar el problema (que es, donde es, cuando es, entre otros)
- Especificar el problema (que no es, donde no es, cuando no es, entre otros)
- Diferencia entre “que es” y “que no es” (comparar los puntos anteriores)
- Desarrollo de causas posibles
- Probar las causas probables contra especificaciones
- Determinar las causas más probables
- Identificar pasos para verificar la causa verdadera

Un análisis típico con el método K-T se muestra como sigue:

<u>K-T (Kepner-Tregoe) Problem Analysis</u>				
STATE DEVIATION:				
Specify the Problem	IS	IS NOT	Distinctions of IS compared with IS NOT	Changes in distinctions (list Dates)
What identity				
Where location				
When timing				
Extent magnitude				
Develop Possible Causes from experience, changes, distinctions			Test for Probable Cause Against specifications (list assumptions from destructive test)	
1			Does not explain:	Explains only if:
2				
Determine Most Probable Cause:			Verify True Cause (steps): 1 2 3 4	

Figura 5: Método de análisis “K-T” (NERC, 2011)

3.2.4 Método Análisis de tareas

Este análisis es una herramienta que puede ser usada en toda investigación y es desarrollada para determinar que podrían haber sucedido. Las instrucciones, los procedimientos y otros documentos, son revisados y desglosados en sub tareas como estrategia para determinar el evento ocurrido. Este análisis, se continúa con una comparación de que debió haber sucedido con lo que realmente sucedió en el evento.

Para el desarrollo de este análisis, puede utilizarse la técnica de análisis de tareas “lápiz y papel”; en donde, se especifica una tarea puntual y esta es desglosada en sub tareas, y en las cuales se identifican las secuencias de acciones, instrucciones, condiciones, herramientas y materiales asociados con el desarrollo de esa tarea.

El objetivo principal de esta técnica es:

- - Desglosar las tareas en diferentes sub tareas, acciones y/o pasos que son esperados en la realización de una actividad.
- - Identificación de información relevante, controles, materiales y otros requerimientos necesarios para realizar una tarea específica.
- - Establecer un conocimiento base para el evaluador de como la tarea a valorar ha sido realizada anteriormente.
- - Identificar problemas potenciales con la realización de la tarea (procedimientos inadecuados, condiciones inapropiadas, etc).

Para elaborar el método de análisis de tareas a través de la técnica “papel y lápiz” se puede seguir la siguiente guía.

- Obtener la información preliminar: Obtener las circunstancias presentadas cuando la acción inapropiada ocurrió
- Seleccionar la tarea de interés
- Obtener información relevante: Procedimientos, esquemáticos del sistema, diagrama de bloques y planos rojos – verde.
- Dividir la tarea de interés en componentes o pasos
- Escribir las acciones en orden de ocurrencia en una matriz de análisis.

A continuación, se muestra como sería la forma del análisis de tareas “papel y lápiz”.

Tabla 1: Análisis de tareas – papel y lápiz

Pasos	Quien la desarrollo	Acciones requeridas	Componentes	Herramientas	Observaciones/Preguntas
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

3.2.5 Método Análisis de Cambio

Un análisis de cambio, es empleado normalmente para una ocurrencia y es generalmente utilizado cuando la misma es desconocida (este se focaliza en los elementos que tuvieron cambios en el sistema). Este tipo de estudios, revisan las desviaciones entre que se esperaba que ocurriera y que realmente ocurrió.

Este método consiste en preguntar: Qué?, Cuando?, Donde?, Quien?, Como? y generando las respuestas anteriores, se tendrá el/los pasos a seguir con el análisis. Esta técnica es adecuada para determinar las causas – raíces de un evento relativamente simple.

A continuación, se muestra la forma de matriz que se utilizaría para realizar este método.

Tabla 2: Método de Análisis de cambio

Factores	Situación presente con evento?	Comparable, situación ideal?	Diferencias?	Efectos adversos
Qué?	--	--	--	--
Donde?	--	--	--	--
Cuando?	--	--	--	--
Tareas	--	--	--	--
Condiciones de funcionamiento	--	--	--	--
Controles directivos	--	--	--	--
...	--	--	--	--

3.2.6 Método Análisis de barreras

Una barrera es una medida de control que separa a las personas y a los componentes del sistema, de condiciones indeseadas. Estas barreras, pueden ser físicas (bloqueos, diseños seguros, alarmas, entre otros), administrativas (políticas, planes, procesos, procedimientos y acciones humanas).

El análisis de barrera es una herramienta efectiva para determinar la causa raíz de eventos de errores humanos. Este se focaliza en las barreras que debieron prevenir la ocurrencia o mitigar las consecuencias. El análisis, define los tres elementos a considerar en la revisión de un evento no deseado (NERC, 2011).

- El objetivo, la situación indeseada
- Amenazas o riesgos que podrían perjudicar el “objetivo”
- Barreras o defensas que son diseñados para mantener las amenazas (las barreras previenen las amenazas de alcanzar el objetivo)

La guía para realizar este análisis es la siguiente:

- Identificar y listar las consecuencias
- Identificar y listar las barreras falladas por cada consecuencias
- Determinar por qué las barreras fallaron
- Verificar los resultados
- Desarrollar acciones correctivas por cada causa

A continuación, se muestran algunas preguntas para determinar las barreras falladas.

- La presencia de barreras mitigan o incrementan la severidad?
- Las barreras no funcionaron como fueron diseñadas?

- El diseño de las barreras es adecuado?
- Hay alguna barrera en los componentes afectados?
- Las barreras son mantenidas adecuadamente?
- Entre otras.

En la Figura 6, se muestra el esquema de análisis de barreras.

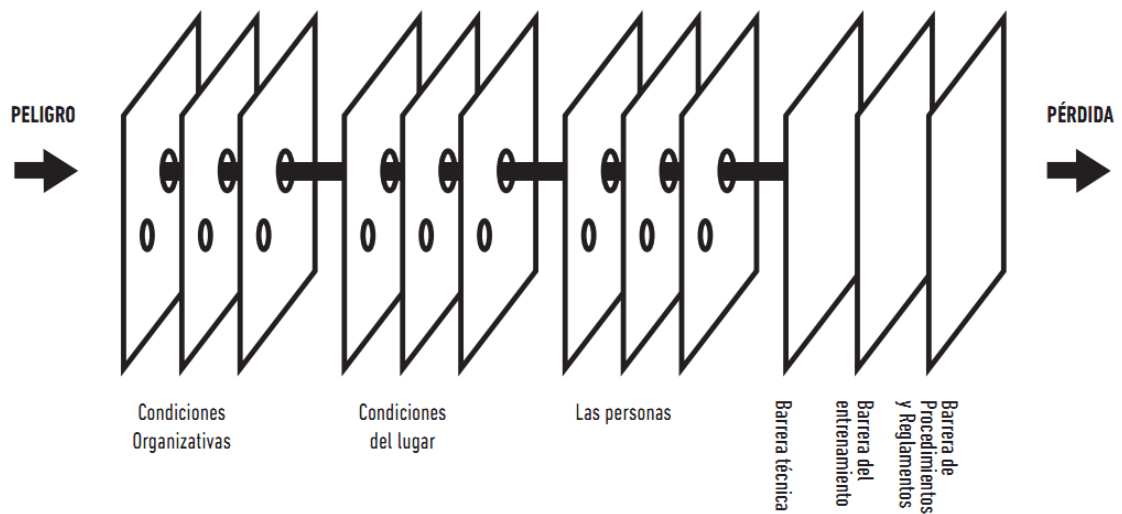


Figura 6: Método Análisis de barreras(Martínez U, 2012)

3.2.7 Método Árbol Lógico

El árbol lógico es una técnica deductiva que se centra en un evento no deseado para encontrar las causas que lo han producido. Esta consiste en descomponer un suceso complejo en sucesos más básicos. Para elaborar el árbol lógico, se puede seguir los siguientes pasos:

- Definición del evento como cabeza del árbol
- Identificar los hechos que hacen evidentes el evento, se debe estipular y/o calcular el porcentaje de contribución al desencadenamiento del evento.

- En cada hecho, preguntarse cómo puede producir tal condición?, generando así hipótesis y asignando igualmente contribución porcentual.
- Analizar el diagrama obtenido
- Encontrar las causas raíces relevantes al evento ocurrido

En la Figura 7, se muestra un ejemplo del árbol lógico.

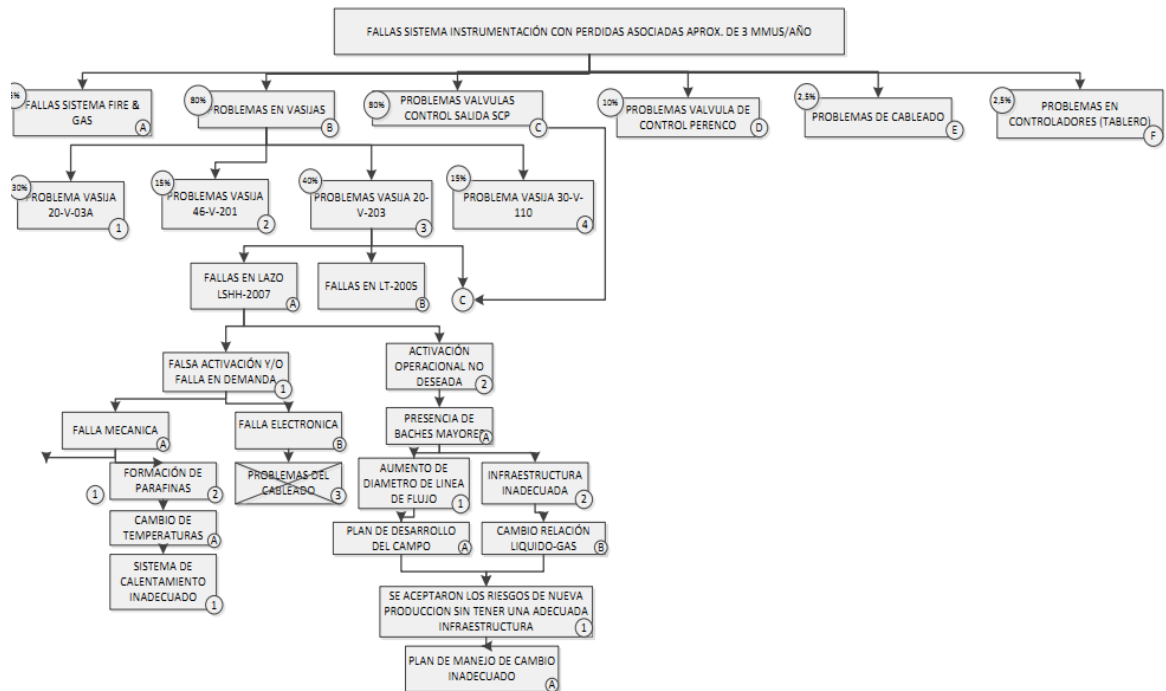


Figura 7: Método de análisis “árbol lógico”

4 METODOLOGÍA PROPUESTA DE ANÁLISIS DE ANOMALÍAS RELÉS DE PROTECCIÓN DISTANCIA

La metodología consta de varios estados y en los cuales se desarrolla una determinada actividad y cada una genera unos beneficios para garantizar el ciclo de mejora continua. La representación gráfica simplificada y detallada se muestra en la Figura 8 y Figura 9, respectivamente.



Figura 8: Metodología propuesta simplificada³

En detalle, en los siguientes numerales se presentará cada una de las etapas de la metodología propuesta:

4.1 RECOPIRAR E IDENTIFICAR LOS CASOS DE ESTUDIO

Durante este proceso, se obtendrán los eventos, casos y ocurrencias que son insumo para realizar los análisis especializados. Particularmente, se tiene especial interés en la aplicación de la metodología en los avisos M5 o avisos especializados (generados en SAP) para las anomalías de las protecciones. Sin embargo, resultan eventos de estudio, los registros consignados en SIGO y ÚNICO.

La información contenida en SAP, es fácilmente obtenida a través de filtros en el sistema y a primera mano, se tendrá este insumo a la metodología propuesta.

³ Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, fruto del proceso de homologación desarrollado en ISA – INTERCOLOMBIA, se tienen registros de anomalías importantes acerca de funcionamiento de los equipos bajo estudio.

Con la información obtenida anteriormente, se logra regularmente conocer los sucesos de interés y que generan el punto de partida de la metodología.

4.2 PRIORIZACIÓN DE CASOS

Para determinar los eventos que generan mayor relevancia para el sistema, se aplicará un método de priorización que dependerá de los impactos en el sistema (indisponibilidades, omisión de disparo y disparos incorrectos), la recurrencia de la anomalía y tiempo estimado para su resolución. Se define así la siguiente matriz (matriz técnica).

Tabla 3: Priorización de casos – Matriz técnica

Tiempo estimado	Impacto		
	Alto	Medio	Bajo
Baja dedicación (15 días)	Caso X	Caso Y	Caso Z
Media dedicación (1 mes)	Caso X1	Caso Y1	Caso Z1
Alta dedicación (>6meses)	Caso X2	Caso Y2	Caso Z2

Cabe anotar que la priorización estará a cargo de personal experto en los temas de análisis de protecciones quienes estimarán el impacto y el tiempo que requieren estos en solucionar los casos.

Luego realizar el proceso de priorización, se aplicará igualmente a los casos seleccionados, la matriz de proporción y con esta se determinará cuáles de los análisis (métodos expuestos en el numeral 3) se realizarán de acuerdo al esfuerzo implicado. Es necesario que se aplique a todos los casos, la matriz de proporcionalidad, puesto que se enmarca dentro de las políticas propias a seguir en la empresa. A continuación, en la Tabla 4 se muestra la matriz a utilizar:

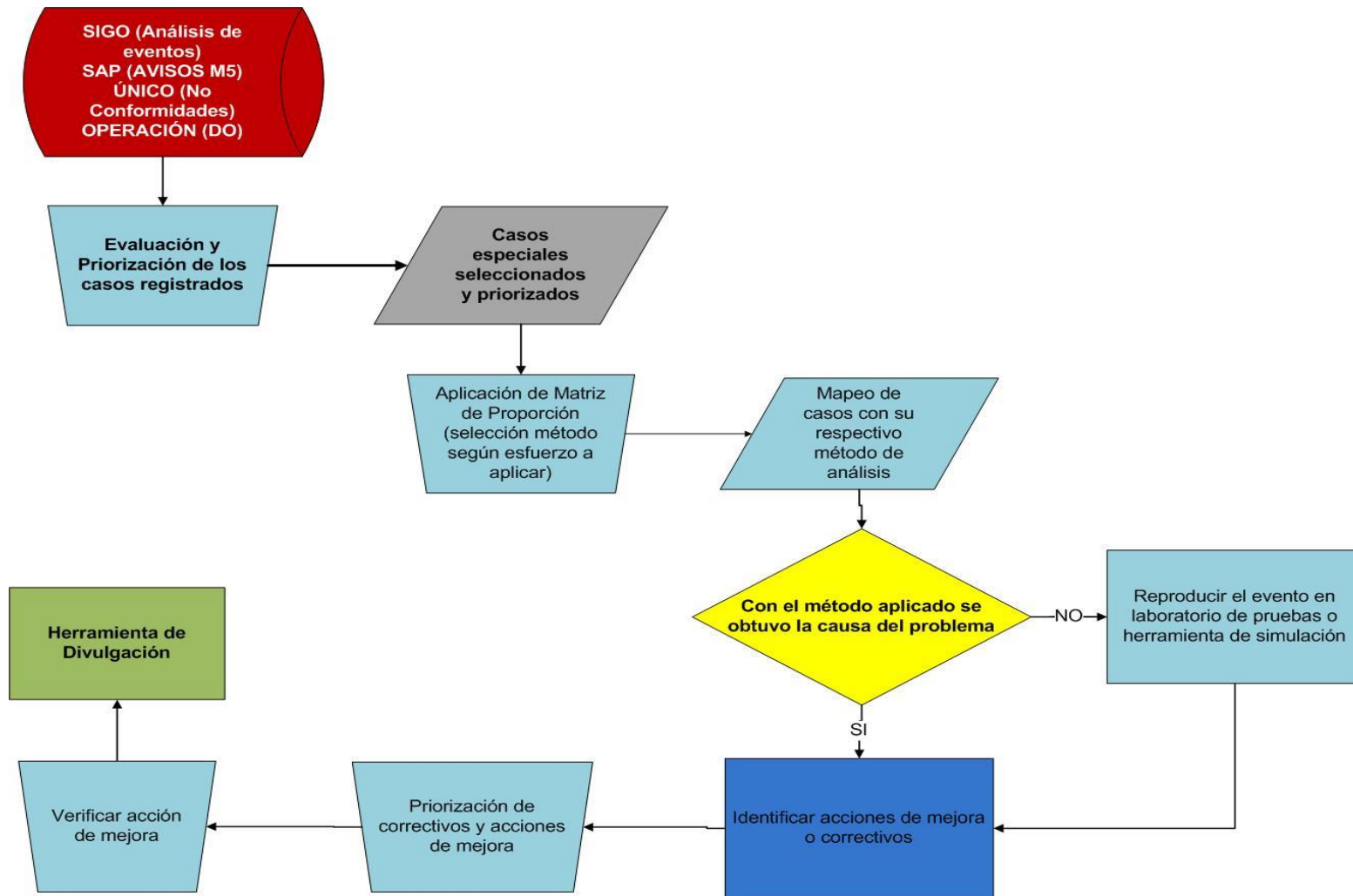


Figura 9: Metodología propuesta simplificada⁴

⁴ Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Proporción de casos – Matriz de proporcionalidad

VARIABLE	ALTO Se aplica ECR	MEDIO Metodología de esfuerzo medio	BAJO Metodología de esfuerzo bajo
AFECTACIÓN AL RECURSO HUMANO EN CONTEXTO LABORAL	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial la <u>pérdida de vidas</u>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un <u>accidente de trabajo</u>	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un <u>cuasi-accidente de trabajo</u>
AFECTACIÓN A LA REPUTACIÓN	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <u>afecta la credibilidad</u> de la compañía <u>a nivel nacional e internacional</u> .	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <u>afecta la credibilidad</u> de la compañía <u>a nivel regional</u> .	Situación que tenga como consecuencia real y/o potencial un concepto público que <u>afecta la credibilidad</u> de la compañía <u>a nivel local</u> .
AFECTACIÓN A LA REMUNERACIÓN MENSUAL	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con impacto <u>mayor a 400 millones de pesos en la remuneración mensual</u>	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con impacto que esté <u>entre 200 y 400 millones de pesos en la remuneración mensual</u>	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con impacto <u>inferior a 200 millones de pesos en la remuneración mensual</u>
AFECTACIÓN AL MEDIO AMBIENTE	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con <u>alta sensibilidad al deterioro ambiental</u> . Los efectos requieren medidas de manejo ambiental especiales y muy detallados.	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con <u>sensibilidad media al deterioro ambiental</u> . Efectos reversibles y requieren el manejo de medidas ambientales de carácter específico.	Situación que tenga consecuencia real y/o potencial con <u>baja sensibilidad al deterioro ambiental</u> . Los efectos requieren medidas generales de manejo ambiental.
OPERATIVO	<u>Afectación total / parcial No tolerable (ENS no prevista)</u>	<u>Afecta parcialmente / aceptable (ENS Prevista)</u>	<u>No afecta</u>
COSTO REPARACIÓN O REPOSICIÓN	Situación con consecuencia potencial en <u>costo de reparación > = 100 millones de pesos</u>	Situación con consecuencia potencial en <u>costo < 100 millones y > = 20 millones</u>	Situación con consecuencia potencial en <u>costo < 20 millones</u>

Para aplicar los criterios de proporcionalidad, se recorre cada una de las variables descritas en la Tabla 4, evaluando si la situación a analizar cumple la condición descrita en alguna de los tres niveles de impacto. La metodología a aplicar se selecciona con base en la condición más crítica identificada. (ITCO, 2016).

Teniendo en cuenta las metodologías descritas en el numeral 143 , se seleccionan las siguientes metodologías de análisis a seguir:

- Esfuerzo bajo:** Se utilizará el método de análisis de “La escalera del porqué”
- Esfuerzo medio:** Se utilizará el método de análisis de “La espina de pescado”
- Esfuerzo alto:** Se utilizará el método de análisis de “ ECR – Árbol lógico”

4.3 ANÁLISIS DE CASOS

Una vez realizado el proceso de priorización y determinado la metodología de análisis a aplicar a los casos según el esfuerzo, se implementan los métodos con los lineamientos del numeral 3.

En caso de no tener las causas y las raíces suficientes para resolver el problema, se procede a reproducir las condiciones de la ocurrencia. Es decir, se representa el evento a través de simulaciones o en laboratorios.

4.4 IDENTIFICAR LAS ACCIONES DE MEJORA Y/O CORRECTIVOS

Una vez conocidas las causas y las raíces del problema, se definen entonces las acciones de mejora o correctivos que se implementarían. Sin embargo, las tareas se realizarán dependiendo del tiempo estimado de ejecución y el impacto de las mismas. Así:

Tabla 5: Matriz de Priorización de mejoras a implementar

Implementación	Impacto		
	Alto	Medio	Bajo
Corto Plazo	Mejora X1	Correctivo X1	Mejora X2
Mediano plazo	Correctivo X2	Mejora X3	Mejora X4
Largo Plazo	Correctivo X3	Correctivo X4	Correctivo X5

Las medidas de mejora, se recomiendan implementarlas en el siguiente orden:

Ciclo azul: Acciones rápidas

Impacto Bajo – Implementación Corto Plazo

Impacto Medio – Implementación Mediano Plazo

Impacto Alto – Implementación Largo plazo

Ciclo Verde: Acciones medias

Impacto Medio – Implementación Corto Plazo

Impacto Alto – Implementación Mediano Plazo

Impacto Alto – Implementación Corto plazo

Ciclo Amarillo: Acciones lentas

Impacto Bajo – Implementación Corto Plazo

Impacto Medio – Implementación largo plazo

Impacto Bajo – Implementación largo Plazo

4.5 VERIFICACIÓN ACCIÓN DE MEJORA Y DIVULGACIÓN

Luego de presentar las acciones de mejora, es necesario mantener seguimiento a las implementaciones recomendadas. El método a seguir, inicialmente será durante el proceso de ejecución, donde se realizarán pruebas de validación (pruebas recomendadas en el reporte de la acción de mejora). Adicionalmente, se realizará la aprobación una vez se presente una nueva ocurrencia en el sistema.

Por su parte, la divulgación es fundamental para completar el ciclo de aprendizaje. Se propone, que se generen espacios de discusión donde se exponga la experiencia de los análisis especializados ocurridos en el sistema (se propone que se divulguen estos casos al interior del grupo DM- Grupo SPAT principal interesado, y luego se puede hacer extensivo a otros grupos en casos que lo ameriten).

A partir de la metodología expuesta anteriormente, se mostrará la aplicación de la misma en un proceso de gestión de avisos del grupo SPAT de la Dirección Mantenimiento de INTERCOLOMBIA.

5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Con el objetivo de aplicar y validar la metodología propuesta, se realizará la implementación de la misma considerando casos reales en el STN. A continuación, se muestra los puntos considerados.

5.1 RECOPIACIÓN DE ANOMALÍAS

Las anomalías a recopilar, son especialmente de las protecciones Siemens 7SA612/7SA87 y ABB REL670 (SIEMENS, 2011) (ABB, 2012). La principal base de datos, se obtuvo del sistema SAP, SIGO y de las experiencias de analistas de análisis operativo y mantenimiento.

Tabla 6: Recopilación de casos de anomalías

Casos	Observación
1	Disparo erróneo – Zona 2, por utilización de la herramienta "Generate Indication - Digsii"
2	Omisión de recierre monofásico y arranque falla evolutiva sin apertura tripolar
3	Bloqueo incorrecto de Fuse Failure
4	Omisión de ciclo de recierre trifásico (El tiempo muerto está ajustado en 500ms y el equipo le toma 1206ms)
5	Bloqueo incorrecto por Power Swing ante falla en la línea
6	Disparo Incorrecto de la función 67NCD y Z2 acelerada porque la señal de disparo monofásico permitido no desengancha luego del primer disparo
7	Falla trifásica en Zona 1 en presencia de oscilación de potencia (el relé permanece bloqueado y no dispara)
8	Disparo incorrecto ante falla monofásica de alta impedancia (Relé dispara tripolar)
9	Operación incorrecta función SOTF
10	Operación incorrecta función Discrepancia de polos por no desenganche de posiciones de polos de interruptor
11	Omisión de envío de la función 67N
12	Activación del recierre lento una vez el corte remoto de la línea local está cerrado – Derivación remota conectada a un transformador (recierre operativo)
ABB - REL670	
Casos	Observación

Casos	Observación
13	Operación incorrecta de la selección de fases PHM
14	Direccionalidad Inadecuada de la función 67NCD
15	Activación del recierre lento una vez el corte remoto de la línea local está cerrado – Derivación remota conectada a un transformador (recierre operativo)
16	Selección de fases inadecuada POTT (Disparo tripolar para falla monopolar)
17	Reinicio constante de la protección
18	Operación incorrecta de la protección (cierre de contactos sin presencia de falla)
19	Omisión de ciclo recierre y disparo definitivo ante falla monofásica

5.2 PRIORIZACIÓN Y PONDERACIÓN DE CASOS

En la siguiente Tabla 7, se muestran la matriz técnica con los casos priorizados.

Tabla 7: Priorización de casos – Matriz técnica

Tiempo estimado	Impacto		
	Alto	Medio	Bajo
Baja dedicación (15 días)	Caso 3, 5, 7, 16, 17, 19	Caso 1, 9	8
Media dedicación (1 mes)	Caso 2, 10, 13, 14, 18	Caso 4, 11	6, 12, 15
Alta dedicación (>6meses)	--	--	--

Además, se realiza la matriz de ponderación.

Tabla 8: Ponderación de casos – Matriz de ponderación

Método Análisis	
Esfuerzo alto	Caso 3, 5, 7
Esfuerzo medio	Caso 1, 6, 9, 10, 16, 18, 19
Esfuerzo bajo	Caso 2, 4, 8, 11, 12,13, 14, 15, 17

5.3 ANÁLISIS DE CASOS

Para realizar el desarrollo del análisis completo, se seleccionarán algunos casos ponderados y priorizados. Por lo anterior, se seleccionan los casos 3, 17 y 19. Adicionalmente, se presentarán en el Anexo 1 adjunto, el desarrollo de casos adicionales considerando la metodología propuesta.

5.3.1 Esfuerzo bajo y dedicación baja: Caso 17

En la Figura 10 y Figura 11, se muestra el desarrollo del método de bajo esfuerzo o “escalera de por qué”

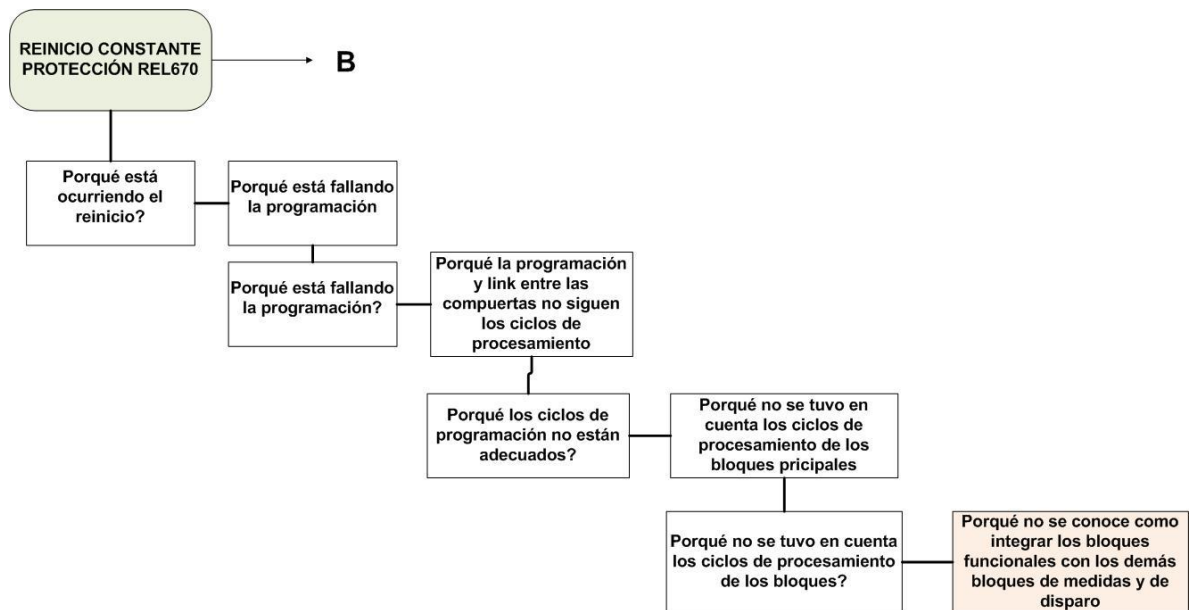


Figura 10: Análisis Caso 17 – método “escalera de por qué” (A)

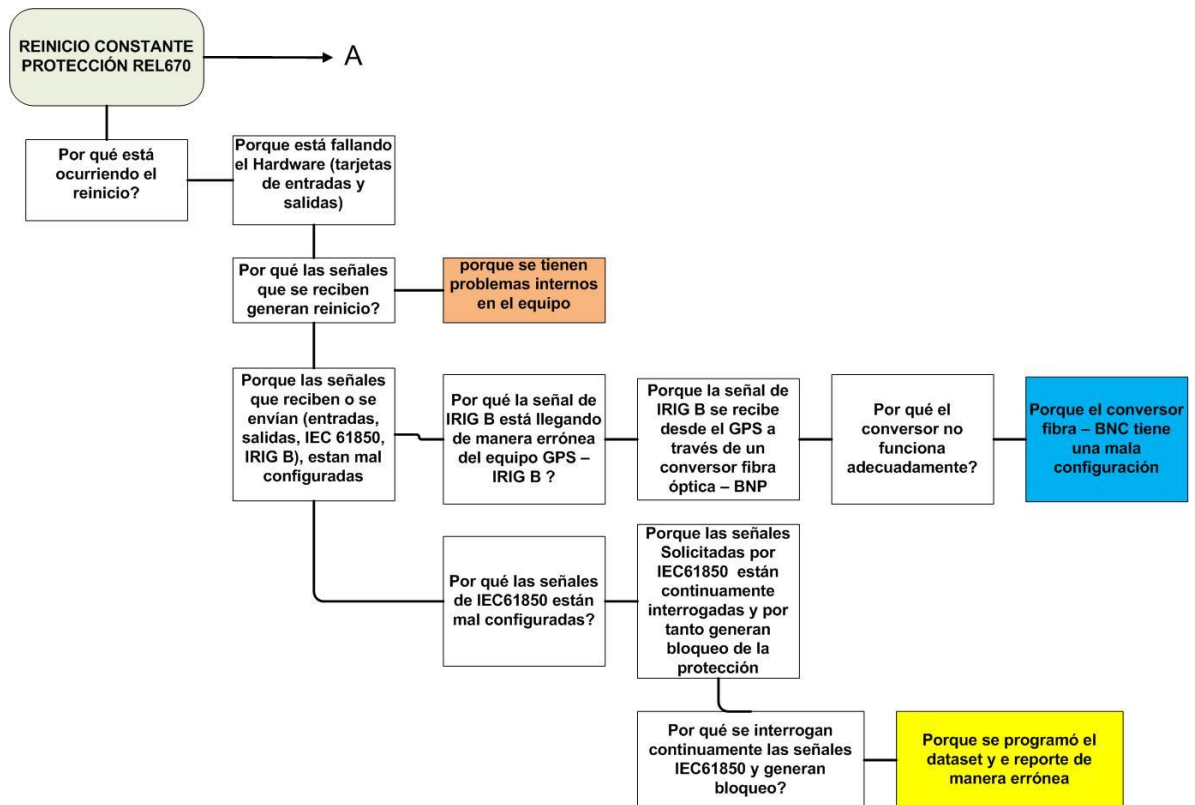


Figura 11: Análisis Caso 17 – método “escalera de porqué” (B)

5.3.2 Esfuerzo medio y dedicación baja: Caso 19

El caso 16, se refiere a la operación incorrecta de la selección de fases ante una falla en la protección REL670, la mala operación se debió a la intervención del personal en los esquemas de recierres actualmente implementados en las líneas. A continuación, se muestra el esquema sencillo de “espinas de pescado”.

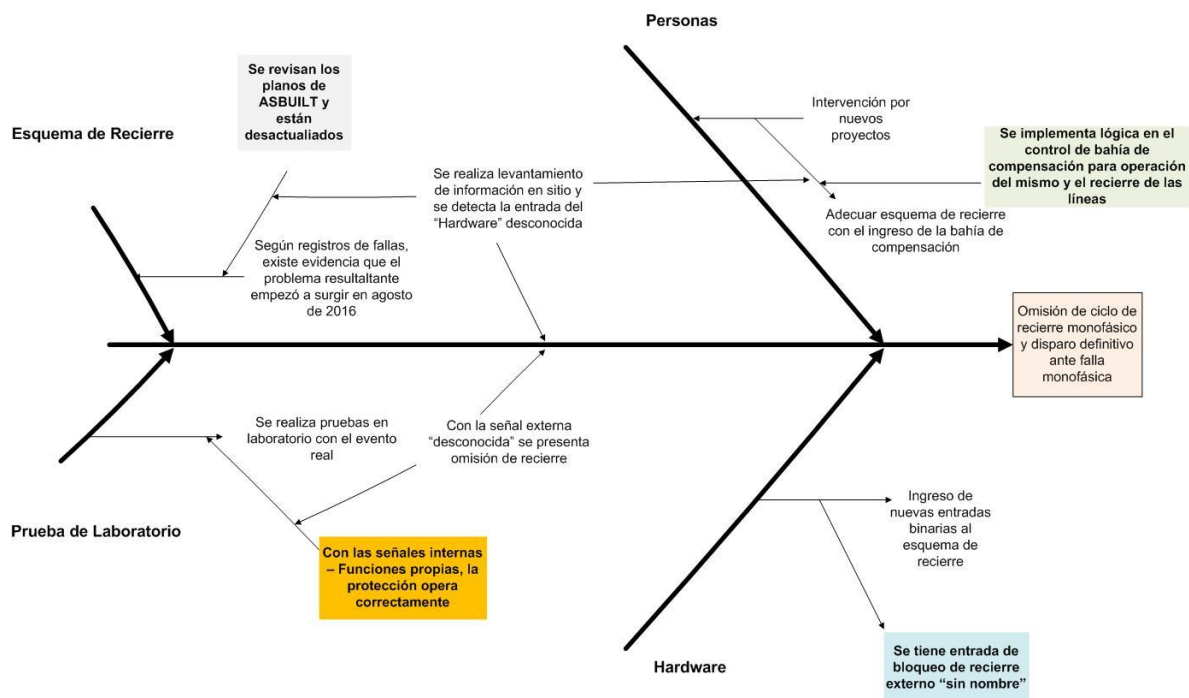


Figura 12: Análisis Caso 19 – método “espina de pescado (B)

5.3.3 Esfuerzo alto y dedicación baja: Caso 3

El análisis del caso 3, ha sido un caso con recurrencias y debido al impacto que ha tenido en el sistema, se realizará un análisis un poco más detallado, a través del método de ECR – Árbol lógico. La mala operación de la protección SIEMENS 7SA612, se refiere a la activación del “Fuse Failure” interno del equipo de manera errónea, cuando en el instante se necesitaba con prioridad la actuación del relé de protección.

Para realizar el análisis, se seguirán sistemáticamente los siguientes pasos:

- a) **Definir el problema:** Omisión de actuación de la protección 7SA612 ante una falla bifásica aislada.
- b) **Cuándo y dónde sucedió:** El evento ocurrió el día 08 de noviembre de 2016 en una línea de transmisión de 230kV.
- c) **Efectos generados:** Operación de las funciones de respaldo de las protecciones de generador y por tanto salida completa del grupo generador

(8 unidades por fuera – 1240MW). Actuación de las protecciones de respaldo de las líneas adyacentes (Pérdida de carga de aproximadamente 400MW). En total la energía no suministrada fue de 490MWH.

d) **Creación de línea de tiempo:** se generará la línea de tiempo para conocer el evento a analizar y recopilar paralelamente información relevante. En la Figura 13 a la Figura 15, se muestra la evolución del evento.

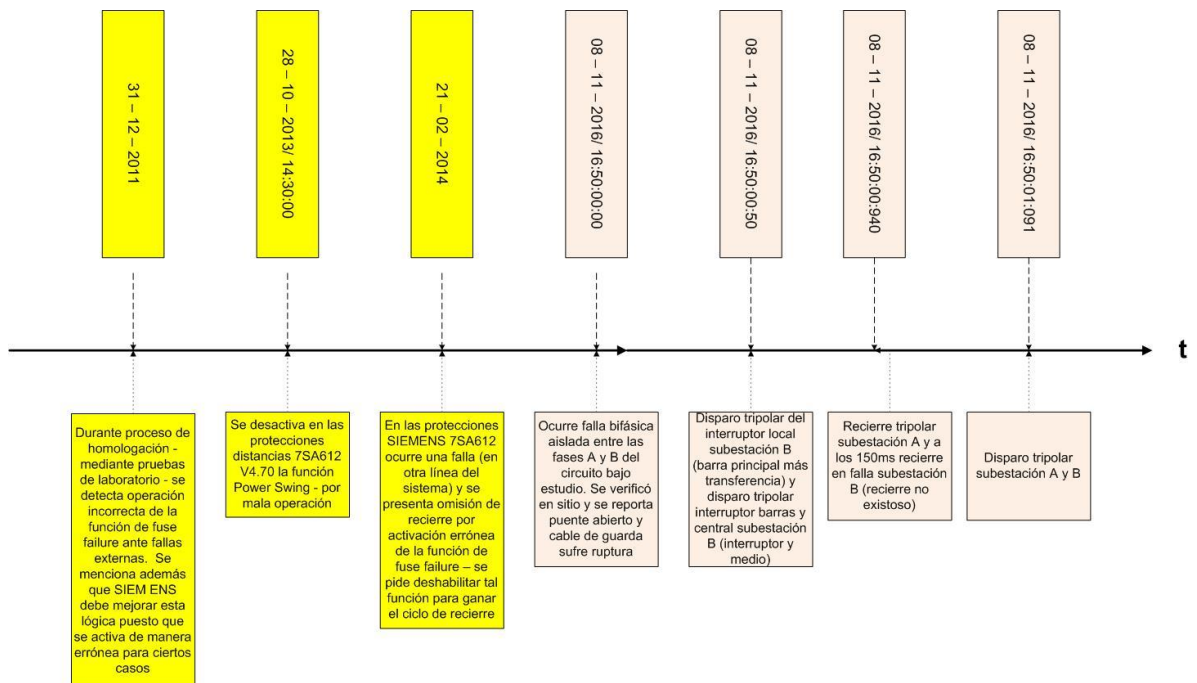


Figura 13: Análisis Caso 3 – Línea de tiempo A

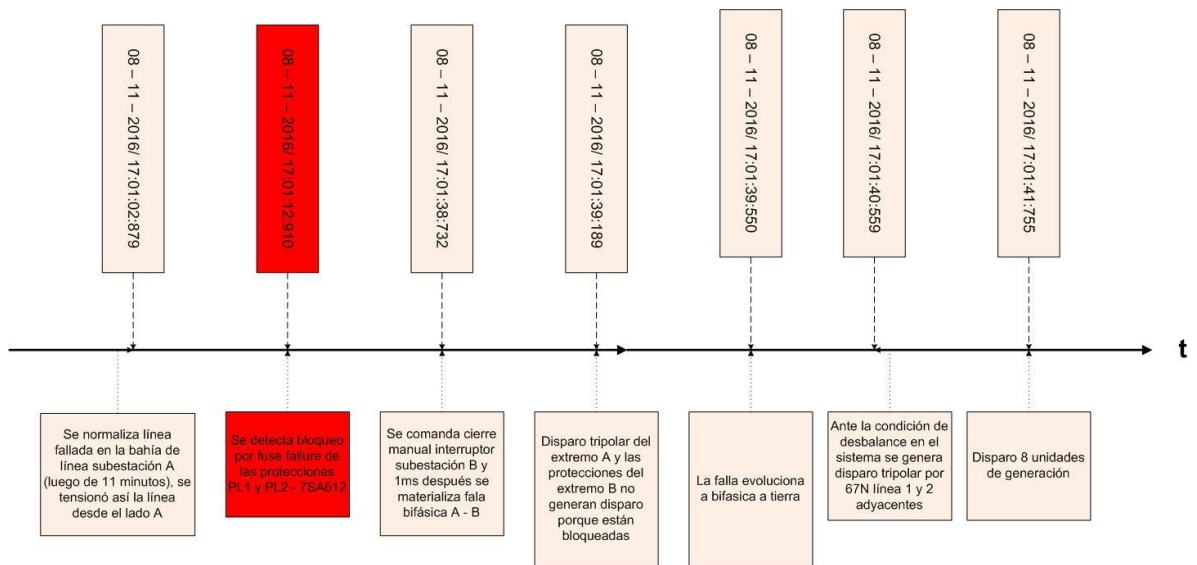


Figura 14: Análisis Caso 3 – Línea de tiempo B

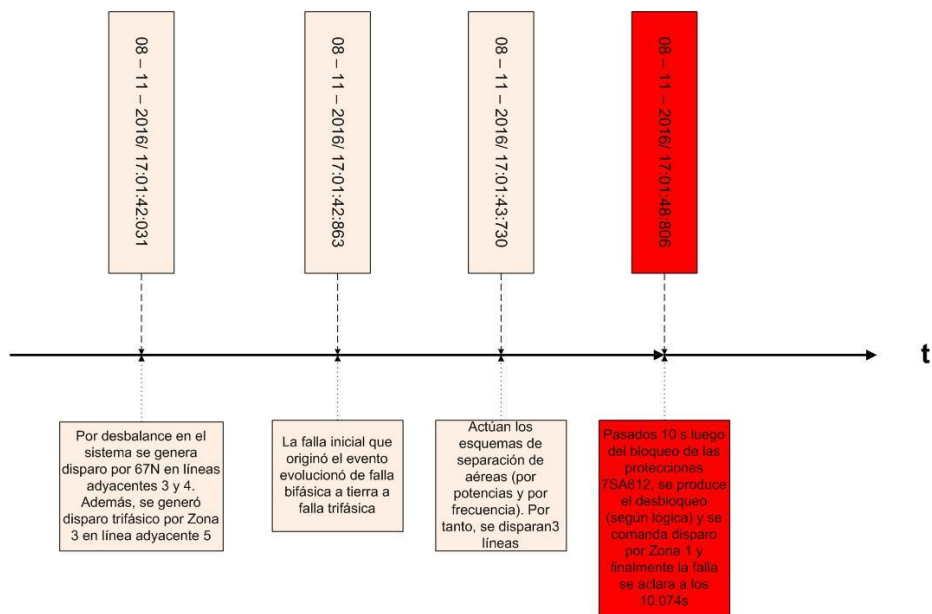


Figura 15: Análisis Caso 3 – Línea de tiempo C

e) **Analizar caso considerando el método de árbol lógico:**

Luego de tener el conocimiento del evento ocurrido, se realizará el método de análisis para determinar las causas raíces que dieron lugar al evento. A continuación, en la Figura 16, se muestra el desarrollo del mismo.

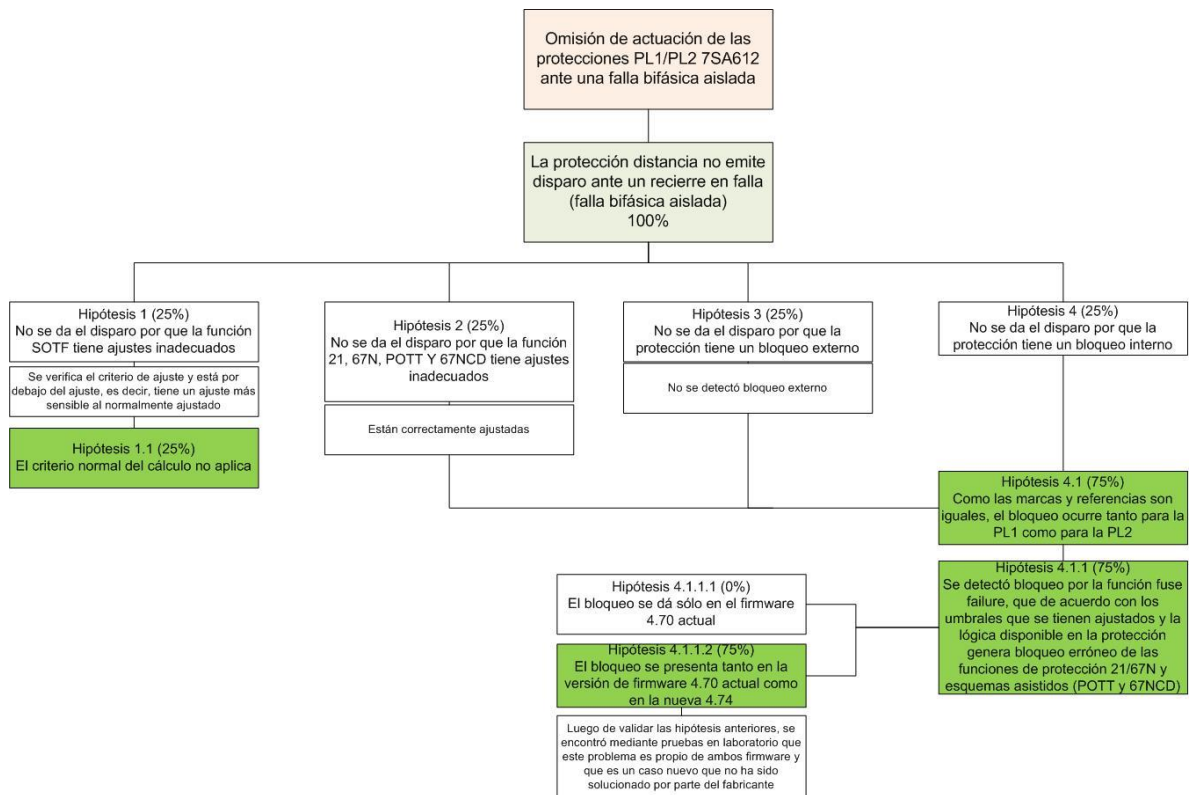


Figura 16: Análisis Caso 3 – Método de árbol lógico

5.4 IDENTIFICAR LAS ACCIONES DE MEJORA Y/O CORRECTIVOS

Luego de realizar los análisis anteriores, se presentarán las acciones de mejora y correctivos:

5.4.1 Esfuerzo bajo y dedicación baja: Caso 17

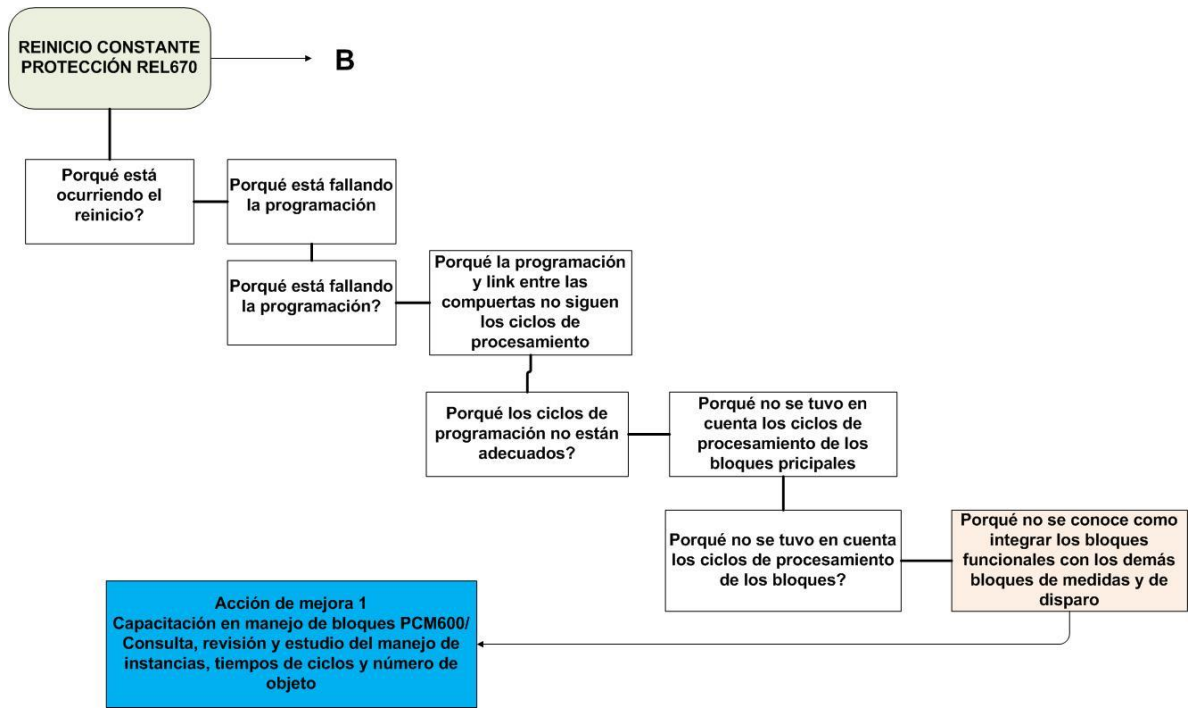


Figura 17: Caso 17 – Acciones de mejora (A)

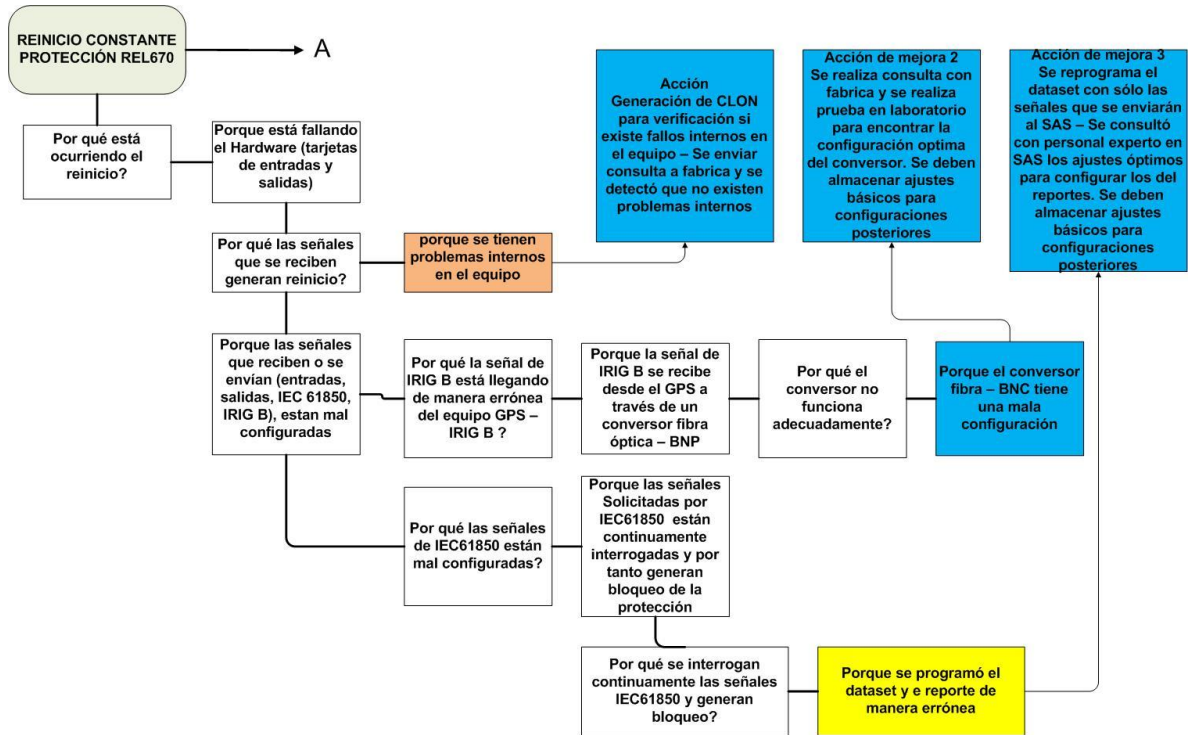


Figura 18: Caso 17 – Acciones de mejora (B)

5.4.2 Esfuerzo medio y dedicación baja: Caso 19

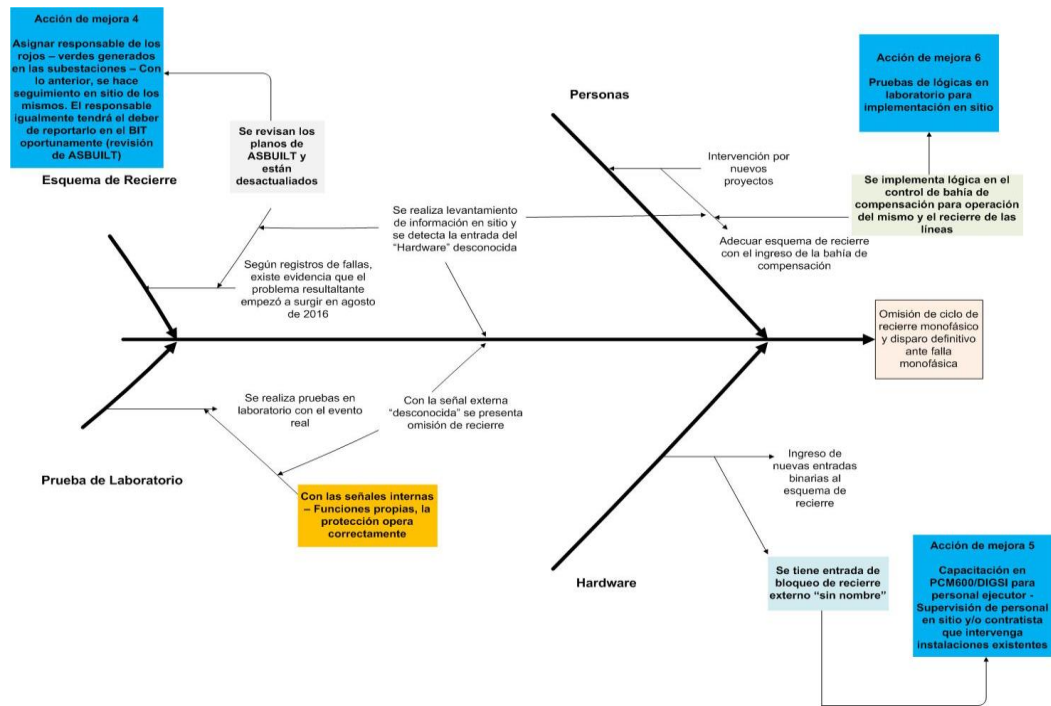


Figura 19: Caso 19 – Acciones de mejora

5.4.3 Esfuerzo alto y dedicación baja: Caso 3

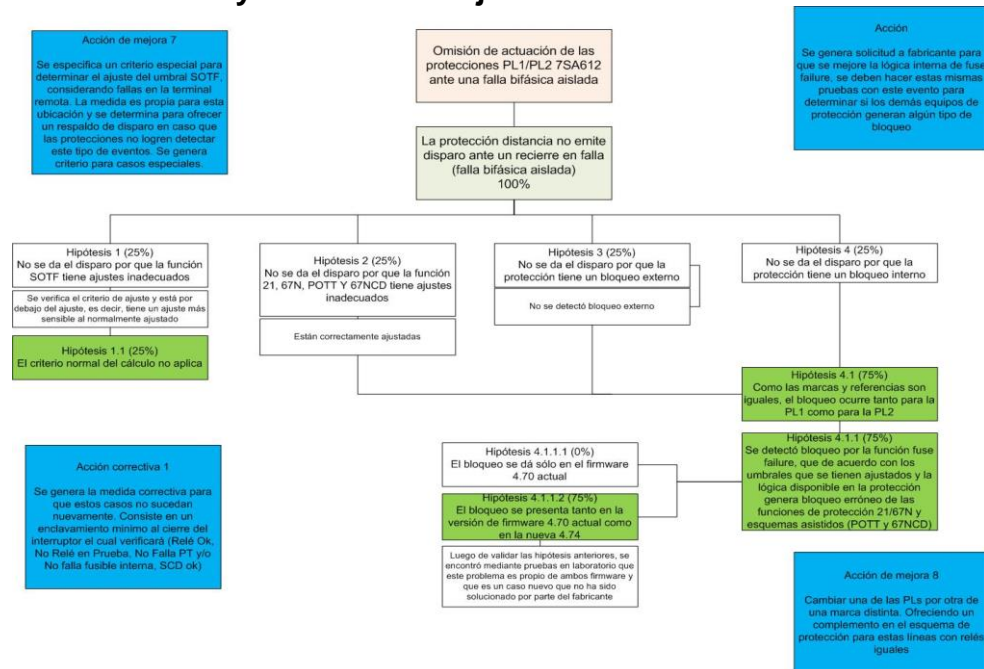


Figura 20: Caso 3 – Acciones de mejora

En resumen y con el objetivo de seguir la metodología propuesta, se presenta la compilación de las acciones de mejoras y correctivos considerando la priorización de las mismas.

Tabla 9: Priorización de acciones de mejoras a implementar

Implementación	Impacto		
	Alto	Medio	Bajo
Corto Plazo	Mejora 3, 7	Mejora 6	Mejora 2
Mediano plazo	Correctivo 1	Mejora 1	--
Largo Plazo	Mejora 4	Mejora 8	Mejora 5, 6

Por lo tanto, los pasos a seguir para solucionar los inconvenientes resultantes de los casos analizados son:

Acciones rápidas, acciones medias y finalmente acciones lentas

5.5 VERIFICACIÓN ACCIÓN DE MEJORA Y DIVULGACIÓN

Se generan los avisos correspondientes para dar seguimiento a cada una de las actividades a realizar. Adicionalmente, se propone divulgar un caso seleccionado en rondas de discusión técnica del grupo SPAT.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo de este capítulo, es verificar y analizar la información resultante durante la aplicación de la metodología propuesta. Por lo tanto, se mostrará los beneficios que se obtuvieron confrontando la metodología propuesta con las tareas que se realizan actualmente para la solución de este tipo de análisis (avisos M5).

Tabla 10: Comparativo de la metodología propuesta con el análisis especializado actual de las anomalías

Metodología propuesta	Actualmente
<p>Se obtuvieron las causas – raíces de problema ocurrido. Se detectan problemas durante la detección de las causas – raíces como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falencias en la configuración de equipos - Falencia en los procesos de documentar planos rojos – verde en los sistemas y en las subestaciones 	<p>Luego de revisar el reporte realizado, se muestra que la causa principal del problema se encontró, sin embargo no quedó la evidencia de problemas en la búsqueda de la misma (causas secundarias).</p>
<p>Se realiza plan de mejora para todos los problemas e inconvenientes encontrados. Ver priorización de acciones de mejora.</p>	<p>Se realiza plan de mejora y corrección para la causa principal. Los demás problemas, se mencionaron en conclusiones y recomendaciones sin embargo no se tiene un plan de mejoramiento integrado</p>
<p>Se muestra el análisis de manera estructurada</p>	<p>Se muestra el análisis de manera dispersa y con el objetivo final de encontrar la causa principal</p>

Metodología propuesta	Actualmente
Se tiene plan de divulgación	No se tenía previsto plan de divulgación
Se generan los avisos para hacer seguimiento a los planes de mejora	Se generan los avisos para hacer la corrección de la causa principal del problema ocurrido

De la comparación realizada entre la metodología propuesta y el análisis especializado actual realizado a las anomalías (avisos M5), se detecta que el análisis usual se enfoca en la causa principal y tiene poca inherencia en la solución de problemas resultantes durante la búsqueda de la procedencia de la falla. Adicionalmente, se tiene una nula divulgación de los inconvenientes encontrados, fragmentando así el ciclo de mejora continua. Por lo anterior, al utilizar la metodología propuesta, se tiene un análisis especializado estructurado, que implementa acciones de mejora para los inconvenientes encontrados durante la búsqueda de la causa – raíz de problema y el enlace final del ciclo de mejora continua con la divulgación de los resultados.

7 CONCLUSIONES

La utilización de la metodología propuesta ayudará en la mejora continua del proceso de análisis especializado de las anomalías resultantes en los sistemas de protección, especialmente, los casos que desarrolla el grupo SPAT – área de protección (avisos M5).

De la comparación realizada entre la metodología propuesta y el análisis especializado actual realizado a las anomalías (avisos M5), se detecta que el análisis usual se enfoca en la causa principal y tiene poca inherencia en la solución de problemas resultantes durante la búsqueda de la procedencia de la falla. Además, en estos momentos, se tiene una nula divulgación de los inconvenientes encontrados, fragmentando así el ciclo de mejora continua. Por lo anterior, al utilizar la metodología propuesta, se tiene un análisis especializado estructurado, que implementa acciones de mejora para los inconvenientes encontrados durante la búsqueda de la causa – raíz de problema y el enlace final del ciclo de mejora continua con la divulgación de los mismos.

Con la utilización de la metodología propuesta, se da un tratamiento integral al problema encontrado, detectando complicaciones incipientes que pueden ser detectadas a tiempo para implementar soluciones completas en el sistema eléctrico de potencia. Por lo tanto, se da un especial cuidado tanto al fin (causa principal) como a los medios (línea de búsqueda de la causa principal).

8 OPORTUNIDADES A TRABAJOS FUTUROS

Como complemento al trabajo realizado, para trabajos futuros son sugeridas las siguientes propuestas:

- Realizar esta metodología en otros campos donde trabaja el grupo SPAT, es decir, aplicar la metodología para los sistemas de automatización, telecomunicaciones y medición.
- Mejorar la forma de priorización de los casos para que sea de manera automática a través de reglas de diagnóstico.
- Seguir en la búsqueda de otros métodos de análisis diferentes y que aporten en la exploración de causas raíces de los problemas, especialmente para evaluar el comportamiento de los errores de las personas (exploración de métodos efectivos de análisis hacia errores de las personas).
- Generar una base de datos de las causas más comunes que dan lugar a los análisis especializados de anomalías y determinar así cuales planes de mejora son más prioritarios en la compañía (capacitaciones, procedimientos, generación de programas de entrenamiento, entre otros).
- Creación de grupos de discusión técnica para socializar los problemas y la búsqueda de soluciones conjuntas.
- Realizar el tratamiento estadístico de las anomalías para verificar si responde a un problema puntual o aislado o uno más global o sistemático.
- Revisar como a través de las anomalías operativas de los relés de protección cómo se impacta la confiabilidad de los esquemas implementados en el sistema.

- Revisar otras referencias de prácticas en evaluación de anomalías utilizadas en diferentes países, tales como Brasil, México, China, Rusia, Europa, entre otros.

9 BIBLIOGRAFÍA

- ABB, C. (2012). Technical reference manual. Line distance protection IED REL670. 1MRK506312-UEN - Revision D. ABB.
- Barry A, T., & Nick F, P. (1997). *Man-Made Disasters*. Butterworth-Heinemann.
- C, R., & Gutiérrez, G. (n.d.). Homologación de protecciones de línea con función de recierre y verificación de sincronismo.
- Castaño, R., & Gutiérrez, G. (n.d.). Homologación protecciones distancia.
- Gutiérrez, G., Castaño, R., & Vásquez, L. (n.d.). Homologación Relés de Protección de Línea. 2012. ISA.
- Ibrahim, M. (2012). *Disturbance Analysis for Power Systems*. John Wiley & Sons.
- ITCO, S. (2016). Manual para la Gestión de Análisis de Mejoramiento en la Gerencia de Operaciones.
- Martínez U, Á. (2012). Gestión Sistémica del Error - El Enfoque del Queso Suizo en las Auditorías, 4. Retrieved from <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC-Gestion>
- Mejía, H., Santana, W., & Equipos, E. (2014). SIPOC MR03SIPOC32-V3.
- Mohamed A, I. (2012). *Disturbance Analysis for Power Systems* (First Edition). John Wiley & Sons.
- Montané, P. (n.d.). *Protecciones en las instalaciones eléctricas -Evolución y Perspectiva*. Boixareu Editores.
- NERC, C. (2011). Cause Analysis Method for NERC, Regional Entities, and Registered Entities. Retrieved from www.nerc.com

- NERC, C. (2014). NERC Staff Analysis of System Protection Misoperations.
Retrieved from www.nerc.com
- NERC, C. (2015). *ERO Event Analysis Process Presentation*. Retrieved from
<https://vimeopro.com/nerclearning/ccap/video/113298548>
- R, O., G.K, P., & M.L.B, M. (n.d.). Detection of Anomalies on Substation Protection
using Oscilography Relays, 4.
- Ratan Das, C., & Mital Kanabar, V. C. (December). Centralized Substation
Protection and Control. *2015*, 80.
- SIEMENS, A. (2011). Manual Distance Protection 7SA612, C53000-G1176-C156-7.
SIEMENS.
- Stamatelatos, M., Caraballo, J., & Vasely, W. (n.d.). Fault Tree Handbook with
Aerospace Applications. NASA.
- Velez, J., Elizondo, D., & Ward, S. (n.d.). A Holistic Methodology Based On
Disturbance Analysis for Improvements in Planning, Operation and Protection
in Colombian Electric Power System, 8.
- Vorley, G. (n.d.). Mini Guide to Root - Cause Analysis.

ANEXO 1

ANÁLISIS DE CASOS DE ANOMALÍAS CON METODOLOGÍA PROPUESTA

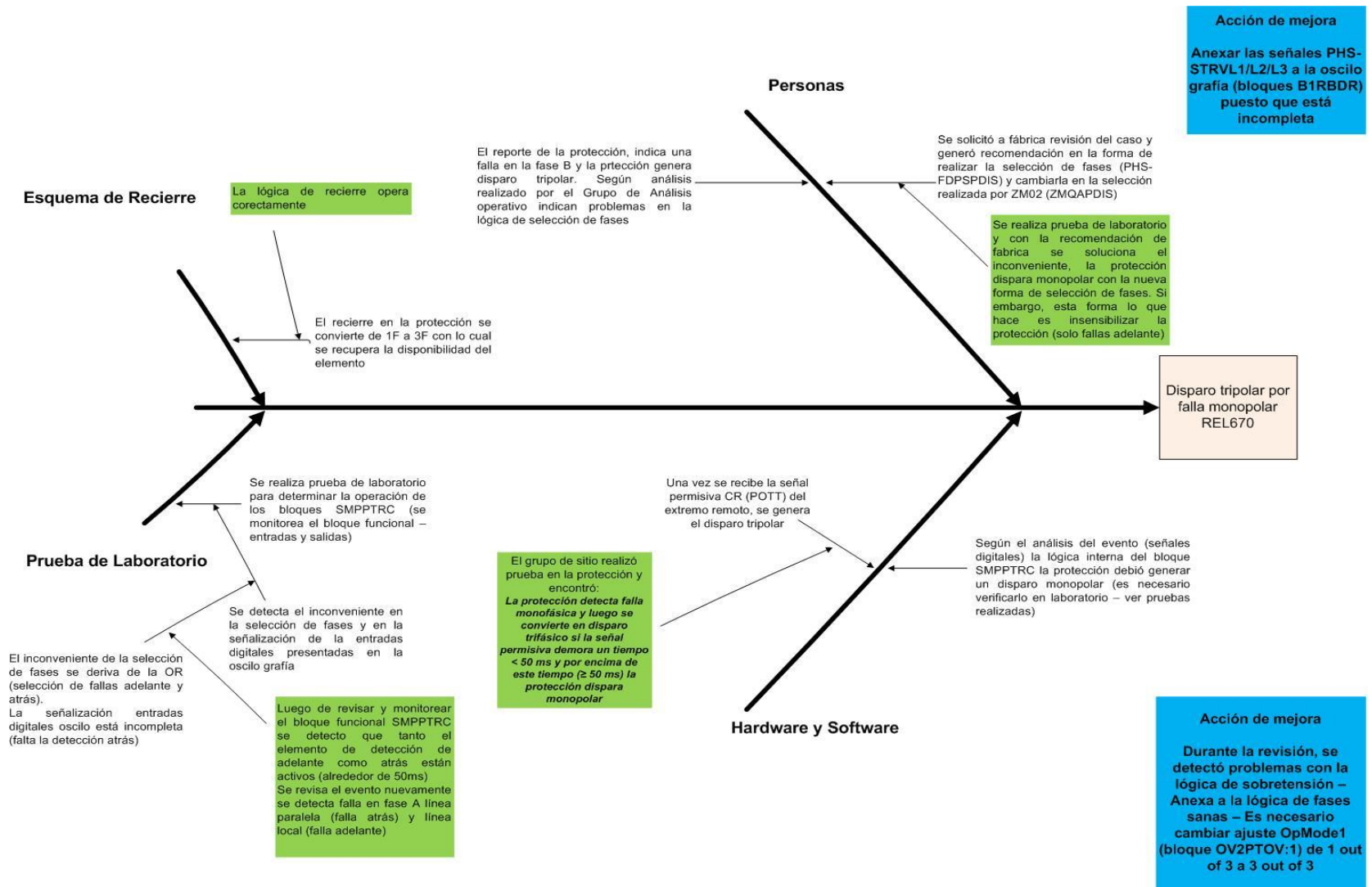


Figura 21: Caso 16 – Análisis a través de “espina de pescado” y Acciones de mejora a seguir

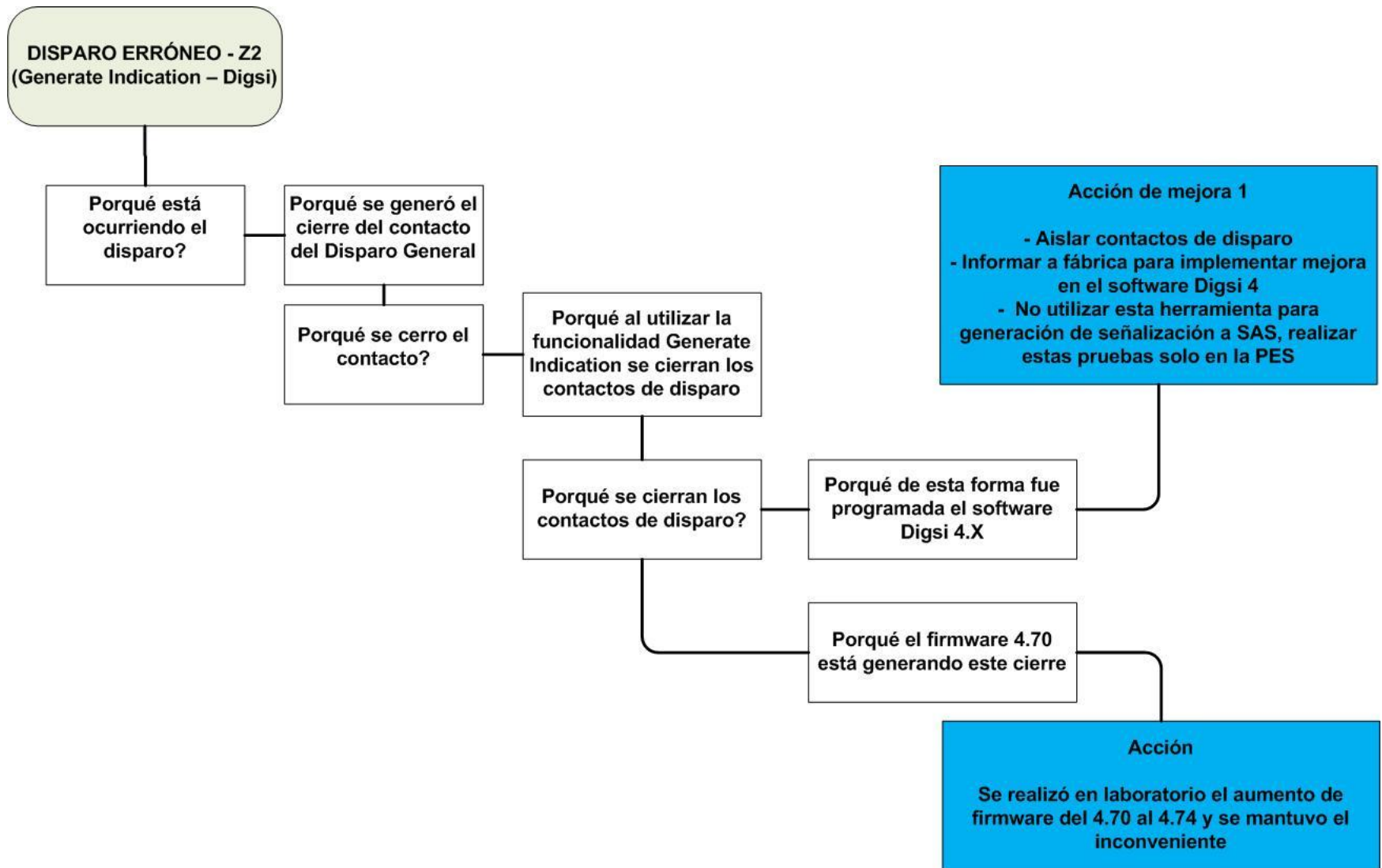


Figura 22: Caso 11 – Análisis a través de “escalera por qué” y Acciones de mejora a seguir

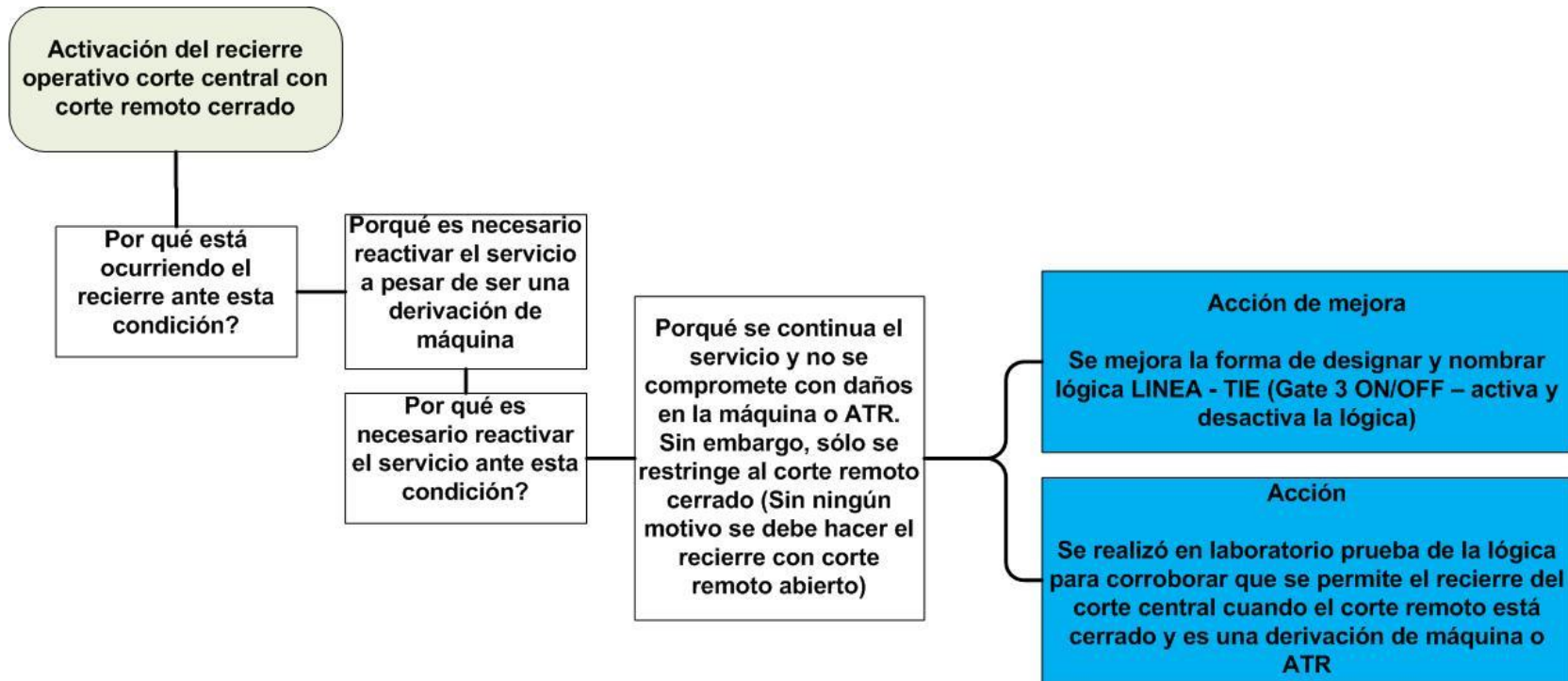


Figura 23: Caso 12 – Análisis a través de “escalera por qué” y Acciones de mejora a seguir

ANEXO 2

ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN

