

UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**HERRAMIENTA PARA ANÁLISIS INTEGRADO DE DATOS
OCURRIDOS DURANTE EVENTOS DE FALLA EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

SUSTENTANTE: GUILLERMO VALVERDE BARQUERO

TUTOR: WILFREDO PRADO CUBILLO

SEDE CENTRAL, COSTA RICA

Julio, 2025

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	I
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	XI
DEDICATORIAS	XII
AGRADECIMIENTOS	XIII
RESUMEN	XIV
CAPÍTULO I. PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Perjuicios existentes	1
1.1.2. Brecha de conocimiento	2
1.1.3. Relevancia práctica y viabilidad	2
1.1.4. Preguntas de investigación	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificación	5
1.4. Antecedentes	8
1.4.1. Antecedentes internacionales	9
1.4.2. Antecedentes nacionales	14
1.5. Proyecciones	20
1.5.1. Implementación inicial en el Circuito Palmar Sur	21
1.5.2. Facilitación de análisis y optimización en el Circuito Piloto	21
1.5.3. Extrapolación a otros circuitos y subestaciones del ICE	21
1.5.4. Integración limitada de sensores de corriente: restricción técnica ..	21
1.5.5. Restricciones de software y publicación: restricción institucional....	22

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	23
2.1. Introducción	23
2.2. Equipos de protección de redes de distribución o reconectadores.....	23
2.2.1. <i>Principios de operación de reconectadores</i>	24
2.2.2. <i>Características técnicas de reconectadores y sus requerimientos según especificaciones ICE</i>	27
2.2.3. <i>Marcas, software de gestión propietarios y estructura de datos</i>	30
2.3. Almacenamiento de datos	40
2.3.1. <i>Perspectiva histórica y actual</i>	40
2.3.2. <i>Respaldos de información</i>	43
2.3.3. <i>Seguridad de datos</i>	44
2.3.4. <i>SharePoint</i>	46
2.4. Análisis de datos multiformato.....	48
2.4.1. <i>Estructura de bases de datos</i>	50
2.4.2. <i>Archivos planos</i>	51
2.4.3. <i>Formato Excel</i>	53
2.4.4. <i>Minería de datos</i>	54
2.5. Visualización para el análisis de la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento.....	61
2.5.1. <i>Redes de distribución eléctrica</i>	61
2.5.2. <i>Modelado de redes de distribución eléctrica</i>	64
2.5.3. <i>Eventos de falla en redes de distribución eléctrica</i>	66
2.5.4. <i>Coordinación de protecciones en redes de distribución eléctrica</i>	68
2.5.5. <i>Esquemas de mantenimiento en redes de distribución eléctrica</i>	71
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	73
3.1. Enfoque de la investigación.....	73
3.2. Método de la Investigación	74
3.2.1. <i>Primera fase: Análisis del proceso actual y recolección de datos</i> ...	76

3.2.2. Segunda fase: Diseño e implementación del modelo de datos unificado.....	76
3.2.3. Tercera fase: Diseño e implementación del dashboard interactivo .	77
3.2.4. Cuarta fase: evaluación de la efectividad del dashboard interactivo	77
3.3. Fuentes de información	78
3.3.1. Fuentes primarias	78
3.3.2. Fuentes secundarias.....	79
3.4. Variables de análisis	80
3.4.1 Variables asociadas al objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas.....	80
3.4.3. Variables asociadas al objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad mediante la limpieza, validación, integración, unificación y estructuración de los datos.....	82
3.4.4. Variables asociadas al objetivo 3: Evaluar la efectividad del dashboard interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos.....	84
3.5. Instrumentos.....	85
3.5.1. Instrumentos asociados al objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas.....	85
3.5.2. Instrumentos asociados al objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad mediante la limpieza, validación, integración, unificación y estructuración de los datos.....	87
3.5.3. Instrumentos asociados al objetivo 3: Evaluar la efectividad del dashboard interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos.....	88
3.6. Proceso para la recolección y análisis de datos	90

3.6.1. Fase de análisis y recolección de datos.....	90
3.6.2. Fase de preparación, modelo de datos unificado, diseño e implementación de Dashboard.....	91
3.6.3. Fase de evaluación la efectividad de la herramienta propuesta.....	93
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	95
4.1. Resultados del objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas	95
4.1.1. Proceso de descarga de datos de los reconectores NULEC y NOJA.....	95
4.1.2. Formatos y estructura de datos de salida	108
4.1.3. Proceso de almacenamiento de datos en el ICE	112
4.2. Resultados del objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad	120
4.2.1. Proceso de importación y limpieza inicial de datos	120
4.2.2. Transformación y unificación de variables claves	126
4.2.3. Creación del modelo de datos unificado y estructurado en Power BI.....	130
4.2.4. Representación visual: dashboard interactivo.....	132
4.3. Resultados del objetivo 3: Evaluar la efectividad del <i>dashboard</i> interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos	141
4.3.1. Perfil de los expertos evaluadores	142
4.3.2. Resultados cuantitativos de la evaluación usando escala Likert... ..	142
4.3.3. Resultados cualitativos de la evaluación mediante comentarios abierto.....	143
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
5.1. Conclusiones	145

5.1.1. <i>Respecto del análisis del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos</i>	145
5.1.2. <i>Respecto del diseño e implementación de un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos</i>	145
5.1.3. <i>Respecto del desarrollo de la herramienta interactiva para la optimización del análisis</i>	145
5.1.4. <i>Respecto de la evaluación del dashboard interactivo</i>	146
5.2. Recomendaciones.....	146
5.2.1. <i>Optimizar el proceso de descarga y almacenamiento de datos</i>	146
5.2.2. <i>Implementar oficialmente el dashboard interactivo</i>	146
5.2.3. <i>Expandir las capacidades analíticas de la herramienta</i>	147
5.2.4. <i>Establecer rutinas de uso estratégico del dashboard</i>	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
Comunicación directa	148
Libros.....	148
Tesis.....	149
Manuales	150
Páginas.....	151
Revistas.....	152
APÉNDICES	155
6.1. Apéndice A: Autorización para realizar tesis en el ICE, Región Brunca.....	155
6.2. Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional	156
6.2.1. <i>Solicitud de información de la gestión de mantenimiento en el Circuito Palmar Sur</i>	156
6.2.2. <i>Solicitud de información de equipos reconectores del Circuito Palmar Sur</i>	158
6.2.3. <i>Solicitud de información del Circuito Palmar Sur</i>	163

6.2.4.	<i>Solicitud de información detallada sobre gestión de datos de reconectores del Circuito Palmar Sur</i>	167
6.3.	Apéndice C: Plantilla de datos unificada para eventos de falla	172
6.4.	Apéndice D: Retroalimentación de la evaluación de la herramienta... ..	173
6.5.	Apéndice E: <i>Script</i> de transformación de datos	180
6.5.1.	<i>Script de limpieza de datos en archivos CSV de reconector marca NULEC</i>	181
6.5.2.	<i>Script de limpieza de datos en archivos XLSX de reconector marca NOJA</i>	182
6.5.3.	<i>Script de transformación de datos en archivos CSV de reconector marca NULEC</i>	183
6.5.4.	<i>Script de transformación de datos en archivos XLSX de reconector marca NOJA</i>	184
6.5.5.	<i>Script de unificación de datos en archivos de reconectores marca NOJA y NULEC</i>	185
6.5.6.	<i>Script de agrupamiento de eventos de falla unificados</i>	186
6.6.	Apéndice F: Glosario de términos	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Interfaz de parametrización del ADR en el software WSOS para equipos NULEC	32
Figura 2 <i>Ejemplo de una carpeta con los archivos generados por el ADR</i>	33
Figura 3 <i>Interfaz de parametrización del ADR en el software WSOS para equipos NULEC</i>	34
Figura 4 <i>Estructura de datos en formato CSV exportados desde el software WSOS para equipos NULEC</i>	35
Figura 5 <i>Estructura de datos en formato TXT exportados desde el software WSOS para equipos NULEC</i>	36
Figura 6 Interfaz de parametrización del ADR en el software CMS para equipos NOJA38	
Figura 7 <i>Estructura de datos en formato CSV exportados desde el software CMS para equipos NOJA</i>	39
Figura 8 <i>Primer disco duro, IBM 305 RAMAC</i>	41
Figura 9 <i>Configuración del canal de comunicación de WSOS y equipos NULEC</i>	98
Figura 10 <i>Establecimiento de la comunicación entre el WSOS y el equipo NULEC</i>	99
Figura 11 <i>Activación de menú de histórico para descarga de datos</i>	99
Figura 12 <i>Menú de histórico para descarga de datos</i>	100
Figura 13 <i>Selección formato para la descarga de datos</i>	101
Figura 14 <i>Directorio de trabajo del WSOS</i>	102

Figura 15 Configuración del canal de comunicación de CMS y equipos NOJA.....	104
Figura 16 Acceso al registro de eventos y selector de rango de fechas.....	105
Figura 17 Selección para exportar registro de eventos en CMS.....	106
Figura 18 Selección para exportar registro de eventos en CMS.....	106
Figura 19 Registros internos de archivo “EventLog.csv” abierto con Excel	110
Figura 20 Registros internos de archivo “Caletas de Drake.xlsx” abierto con Excel....	112
Figura 21 Carpeta de trabajo del WSOS compartida en SharePoint	114
Figura 22 Directorio de trabajo del WSOS.....	115
Figura 23 Historial de versiones de la plataforma SharePoint	116
Figura 24 Almacenamiento de registros de eventos de CMS en SharePoint	117
Figura 25 Configuración de historial de versiones de SharePoint	118
Figura 26 Administración de acceso de carpetas en SharePoint.....	119
Figura 27 Script y resultado de la conexión a archivo de la Marca NOJA	121
Figura 28 Script y resultado de la conexión a archivo de la marca NULEC.....	121
Figura 29 Secuencia de pasos aplicados en Power Query para Archivos CSV de NULEC	123
Figura 30 Secuencia de pasos aplicados en Power Query para archivos XLSX de NOJA	124
Figura 31 Estructura de datos resultante después de limpieza y validación (NULEC)	125
Figura 32 Estructura de datos resultante después de limpieza y validación (NOJA)..	126

Figura 33 Estructura de la columna unificada de estampa de tiempo	127
Figura 34 Estructura de la columna fase, magnitud y unidad, unificada y validada	128
Figura 35 <i>Categorización del tipo de evento, I Pickup, I Falla y Lockout</i>	130
Figura 36 Estructura de la tabla “Eventos de falla”	131
Figura 37 Estructura de la tabla “Datos Unificados”.	132
Figura 38 Selector de “Equipo” y filtros interactivos del periodo de análisis y tipo de evento	133
Figura 39 Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato tabla	134
Figura 40 Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico	137
Figura 41 Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico para múltiple equipos.....	138
Figura 42 Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico acumulado por periodo seleccionado	139
Figura 43 Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico acumulado por periodo seleccionado para múltiple equipos	140
Figura 44 Resultado de la encuesta: Información general de los expertos participantes	174
Figura 45 Resultado de la encuesta: Facilidad de acceso e integración de datos.....	175
Figura 46 Resultado de la encuesta: relevancia y facilidad de interpretación de gráficos	176
Figura 47 Resultado de la encuesta: Información centralizada y contribución a la optimización del análisis	177

Figura 48 <i>Resultado de la encuesta: contribución al enfoque por sección e intensidad de uso</i>	178
Figura 49 <i>Resultado de la encuesta: pregunta abierta, aspectos positivos y negativos</i>	179
Figura 50 <i>Script de limpieza de datos de los archivos CSV del reconnector marca NULEC</i>	181
Figura 51 <i>Script de limpieza de datos de los archivos XLSX del reconnector marca NOJA</i>	182
Figura 52 <i>Script de transformación de datos de los archivos CSV del reconnector marca NULEC</i>	183
Figura 53 <i>Script de transformación de datos de los archivos XLSX del reconnector marca NOJA</i>	184
Figura 54 <i>Script de unificación de datos de los archivos CSV y XLSX de los reectores marca NULEC y NOJA</i>	185
Figura 55 <i>Script de agrupamiento de eventos de falla unificados para reectores marca NULEC y NOJA</i>	186

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Plantilla para datos unificados de eventos de falla</i>	172
----------------	--	-----

DEDICATORIAS

A mi bendita madre María Barquero Gómez, por su sabiduría divina, y a mi padre Guillermo Valverde Rojas, quien vela por mí desde el cielo; ambos me formaron con su ejemplo.

A mis hijos Guillermo Antonio Valverde y Víctor Manuel Valverde, razón de mi vida, y a mi compañera de vida, por su increíble ejemplo de fortaleza y entrega.

A Alicia Vallejo Campos, mi compañera de vida, por su apreciable compañía y constante motivación.

AGRADECIMIENTOS

A don Álvaro Araya, mi compañero del Área de Desarrollo de la Región Brunca, por su gran aporte.

Al Instituto Costarricense de Electricidad, Sector Energía, División de Distribución y Comercialización, y en especial a la Región Brunca, por permitirme desarrollar un tema de tanta importancia en el Área de Equipos Especiales y Mantenimiento regional.

A los compañeros del Área de Mantenimiento, Equipos Especiales y SIRDE, por su invaluable aporte de datos relevantes.

A mis amigos Jimmy y Yudy, por permitirme desarrollar, desde su casa, la mayor parte de este trabajo.

A mi hermana Magda y a su esposo David, por su valiosa ayuda.

A mi sobrina Fanita y a su esposo Alexander, por su gran colaboración en momentos cruciales.

RESUMEN

La gestión actual de datos de eventos de falla en las redes de distribución eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), específicamente en el Circuito Palmar Sur, enfrenta limitaciones significativas. En ese sentido, procesos de descarga manual y la heterogeneidad de formatos de equipos NULEC y NOJA dificultan un análisis ágil e integrado, lo cual impacta la toma de decisiones para la coordinación de protecciones y planificación del mantenimiento.

Ante esta problemática, en esta investigación, se propuso diseñar e implementar una herramienta interactiva para integrar y visualizar datos heterogéneos de eventos de falla. En ese sentido, se buscan optimizar los análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento en la Región Brunca del ICE.

Metodológicamente, se adoptó un enfoque mixto predominante cuantitativo con un diseño no experimental transversal y retroalimentación experta. Los datos primarios se recolectaron mediante interacción con softwares propietarios y consultas a expertos. Considerando lo anterior, Power Query fue el instrumento para la integración de datos heterogéneos y Microsoft Power BI para el desarrollo del modelo de datos unificado y el *dashboard* interactivo. La efectividad de la herramienta se evaluó mediante retroalimentación de expertos.

Los resultados principales revelaron un proceso de descarga fragmentado y manual, pero se logró diseñar e implementar un modelo de datos unificado en Power BI, el cual integra exitosamente la información heterogénea al garantizar consistencia y accesibilidad. El *dashboard* desarrollado ofrece visualizaciones claves (secuencias, magnitudes, frecuencias, tendencias). La evaluación demostró alta aceptación y utilidad, por tanto, se confirmó que la herramienta mejora significativamente el acceso y la comprensión de los datos al optimizar el análisis y la planificación.

En conclusión, la herramienta interactiva proporciona una solución unificada y ágil que supera las limitaciones actuales en la gestión de datos de fallas, optimizando la toma de decisiones para la operación y el mantenimiento de las redes de distribución del ICE.

Palabras claves: *dashboard* interactivo, datos de falla, redes de distribución eléctrica, coordinación de protecciones, mantenimiento preventivo

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La Subestación Palmar ubicada en la Región Brunca, específicamente en la comunidad de Olla Cero, distrito de Palmar Sur del cantón Osa, se conforma básicamente por un transformador reductor y cinco circuitos de distribución eléctrica que viajan hacia las comunidades rurales del cantón de Osa y Puerto Jiménez, atravesando zonas boscosas y áreas protegidas por la legislación actual, lo cual es observado en el sistema de visualización georreferenciado de la División de Distribución y Comercialización (DDyC) del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (SIRDE, s. f.) Uno de los circuitos, denominado Palmar Sur cuenta con 277 Km de red primaria aérea, seccionados por medio de equipos de protección automáticos ubicados estratégicamente a lo largo del circuito (F. Sáenz Gutiérrez, comunicación personal, 1 de marzo de 2025).

La abundante flora y fauna impacta frecuentemente la continuidad del servicio eléctrico brindado a las comunidades servidas, tal como lo indica Villalobos (2024) en su informe oficial para la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), señalando un total de 141 en el año 2022.

1.1.1. Perjuicios existentes

Los eventos de falla en esta compleja red de distribución conllevan a una serie de perjuicios operativos y económico, aunque los equipos de protección registran datos de corrientes de falla y operaciones, y algunos son enviados al sistema SCADA del ICE. Una parte significativa de estos registros permanece en el almacenamiento interno de los equipos, por tanto, requieren interrogación remota o en sitio. El SCADA actual solo captura una secuencia simplificada y el último estado tras la operación, lo cual limita el registro de fallas transitorias, o bien, se pierden registros debido a fallas temporales de comunicación.

Dicha fragmentación y la falta de un registro completo impiden un análisis detallado de la efectividad de la coordinación de protecciones y de la frecuencia y ubicación precisa de las fallas. Como consecuencia directa, el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca carece de agilidad para optimizar la coordinación de protecciones y fundamentar recomendaciones estratégicas para la planificación del mantenimiento. Esto se traduce en un impacto negativo en la continuidad y calidad del servicio, la vida útil de los activos (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

1.1.2. Brecha de conocimiento

La brecha de conocimiento reside en la ausencia de una solución que integre y unifique los datos heterogéneos de eventos de falla provenientes de los softwares propietarios (WSOS de NULEC y CMS de NOJA) de múltiples equipos de protección (trifásicos y monofásicos). Actualmente, cada software exporta archivos en formatos diversos (CSV, XLSX) con estructuras de datos diferentes y sin capacidades de integración en línea.

Este proceso fragmentado de recopilación y análisis es lento y no permite una visualización ágil de la información clave para la toma de decisiones. Por lo tanto, existe una deficiencia en la capacidad de la organización para realizar un análisis integral de los eventos de falla que trascienda las limitaciones de los sistemas actuales y optimice las prácticas de operación y mantenimiento (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

1.1.3. Relevancia práctica y viabilidad

La relevancia práctica de este estudio radica en el potencial de la herramienta interactiva para optimizar la gestión de la red al mejorar los indicadores de continuidad y la vida útil de los activos en línea con la normativa de la ARESEP que establece límites de servicio (ARESEP, 2016). La viabilidad del estudio se sustenta en la disponibilidad de

datos históricos de los equipos, el acceso a los softwares propietarios y el respaldo institucional del ICE, incluyendo el uso de plataformas licenciadas como Power BI para el desarrollo de la solución (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

La autorización para el desarrollo de la investigación fue realizada por el nivel 1 de la Región Brunca, según consta en el **Apéndice A: Autorización para realizar tesis en el ICE, Región Brunca**".

1.1.4. Preguntas de investigación

¿Cómo desarrollar una herramienta que integre y visualice, en forma ágil y clara, los datos ocurridos durante un evento de falla y registrados en múltiples equipos de protección de la red de distribución eléctrica?

¿Cómo disponer los resultados de la herramienta para proporcionar facilidad en el análisis de la coordinación de protecciones y las recomendaciones para la planificación del mantenimiento de la red de distribución eléctrica?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una herramienta interactiva para integrar y visualizar datos heterogéneos de eventos de falla en equipos de protección de redes de distribución eléctrica con el propósito de optimizar el análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento en la Región Brunca del ICE.

1.2.2. Objetivos específicos

Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas.

Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad.

Evaluar la efectividad del *dashboard* interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos.

1.3. Justificación

La necesidad de una herramienta interactiva para la integración y visualización de datos de fallas en redes de distribución eléctrica es fundamental en la creciente complejidad de estos sistemas de distribución eléctrica y la cantidad de datos generados por los dispositivos de protección (Birol, 2017). Por ende, la falta de una visión integrada dificulta la identificación de patrones de falla y la optimización de las estrategias de mantenimiento.

Esta investigación busca desarrollar e implementar una herramienta que, a los ingenieros de la red de distribución eléctrica del ICE en la Región Brunca, Subestación Palmar, Circuito Palmar Sur, les permita visualizar, de manera fácil, los datos de fallas para mejorar la toma de decisiones en la gestión de la red.

En el ICE, Región Brunca, según indica Guzmán (comunicación personal, 25 de marzo de 2025), el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca carece de una herramienta que integre los datos ocurridos durante una falla en la red de distribución eléctrica a pesar de que la totalidad de los datos sí quedan registrados en los diferentes equipos de protección instalados en la red de media tensión que intervienen en el despeje de la falla. El objetivo de estos equipos de protección es aislar el sector en falla, lo cual permite el restablecimiento automático de los restantes sectores que no presentan falla y, por tanto, mejorando los indicadores de continuidad del servicio eléctrico brindado a los clientes servidos (Lozada Rincón, 2019).

Para realizar el análisis de un evento particular y determinar si cada equipo de protección realizó su función, tal cual se tiene programado según el esquema de coordinación de protecciones implementado por el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca, por separado, debe revisarse el archivo de cada equipo de protección que interviene en el evento, determinando magnitudes de corrientes (denominadas corrientes de falla) y tiempos de operación de los equipos para ser comparados con el planificado en el esquema de coordinación de protecciones. Este procedimiento es

laborioso y complejo de realizar, y por lo general, solo se realiza ante la sospecha de una operación no esperada de los equipos de protección y no como una rutina para la mejora continua (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

Durante un evento de falla, lo deseable es que solo el equipo más cercano a la falla (sentido falla-fuente) realice la secuencia de operaciones programada, mientras que los restantes equipos en el sentido falla-fuente solo registren la corriente de falla (Lozada Rincón, 2019). En el sistema SCADA actual de la Región Brunca, solo se registran las operaciones de apertura, cierre y corriente de falla del equipo que realiza operaciones, quedando los restantes equipos sin enviar datos al sistema SCADA. Dicha situación imposibilita que dicho sistema cumpla con los requerimientos para una visualización y análisis integrado de un evento de falla en la red de distribución eléctrica (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

Es necesario recalcar que el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca es la encargada de la coordinación de las protecciones y de suministrar información del estado de la red al Área de Mantenimiento para que planifique y programe sus actividades. Por tal motivo, esta área tiene la necesidad de contar con una herramienta que visualice las variables eléctricas necesarias, registradas en todos los equipos de protección que intervienen en un evento de falla, para llevar a cabo un análisis de la efectividad del esquema de coordinación de protecciones implementado (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

Consecuentemente, la herramienta deberá facilitar la interpretación oportuna de la efectividad de la coordinación de protecciones implementada de manera que contribuya a una evaluación y mejora continua de dicho esquema de coordinación de protecciones.

A partir del mencionado análisis ágil de efectividad de la coordinación de protecciones, el Área de Equipos Especiales Regional está en posibilidad de validar o corregir el esquema de coordinación de protecciones implementado en la red en estudio, evaluando su efectividad con cada evento real que ocurra. Ello resulta de suma

importancia dada la dinámica de crecimientos y reconfiguraciones de las redes de distribución eléctrica, lo cual impactaría positivamente los indicadores de continuidad del servicio eléctrico brindado a los clientes.

Adicionalmente, se debe mencionar que:

El deterioro de la calidad y continuidad del servicio eléctrico brindado a los clientes y relacionado con la pérdida del aislamiento en la red de distribución, tanto por la falla de los elementos propios de la red, como por el impacto de la vegetación, la fauna y otros objetos que entran en contacto con la red provocando una perturbación o una falla transitoria, temporal o permanente, impactaron en el año 2023 el indicador de la duración promedio de las interrupciones ICE (DPIR) en 12.26 horas (Villalobos, 2024, p.14).

En ese sentido, “el Circuito Palmar Sur tiene su propia DPIR de circuito en un valor de 39.04 horas (p.54), muy superior al valor al límite normativo de referencia de 6 horas” (Villalobos, 2024, p.4). Todos los mencionados eventos son registrados en los equipos de protección, independientemente de si la falla es permanente, temporal, transitoria o una perturbación.

En la Región Brunca, los planes y las acciones de mantenimiento preventivo y correctivo se basan en inspecciones y estadísticas de averías ocurridas y registradas en el Centro Local de Operaciones de la Red (CLOR). La estadística mencionada implica situaciones materializadas en averías, por tanto, el mantenimiento resultante es un mantenimiento correctivo. Por otra parte, las inspecciones de campo permiten realizar planes de mantenimiento basado en condición y es referido como un mantenimiento preventivo (J. González Calderón, comunicación personal, 2 de abril de 2025).

A la Región Brunca, el contar con la herramienta propuesta permitirá, en forma rápida y dinámica, visualizar la frecuencia y las secciones de red donde están ocurriendo los eventos de perturbación, falla transitoria, temporal o permanente que afectan a la red de distribución eléctrica. Esta visualización será un apoyo en la región para la elaboración

de los planes de mantenimiento preventivo de la red de distribución eléctrica con base en la analítica de datos existentes. Por tanto, representa una mejora de valor con implementación de bajo costo en comparación con inspecciones de campo que requieren horas hombre incrementadas y desplazamientos significativos.

Del mismo modo, la disposición de datos en un repositorio de fácil acceso y la posibilidad de visualización y análisis basados en los eventos de falla registradas por los equipos de protección será un factor clave para facilitar la implementación de acciones efectivas para la optimización de la operación y el mantenimiento de la red de distribución eléctrica en la Región Brunca, lo cual permitirá dar seguimiento a la evolución en el tiempo y potenciando una retroalimentación para la mejora continua. por consiguiente, colabora en la mejora de los indicadores de continuidad, la vida útil del activo y el cumplimiento normativo.

De acuerdo con la ARESEP (2016), la normativa vigente establece valores límites de 6 horas de Duración Promedio de Interrupciones Promedio de la Red (DPIR) para las empresas distribuidoras de energía eléctrica. A partir de ello, en la Región Brunca y en el ICE, surge la necesidad de buscar opciones rentables y efectivas para enfocar el mantenimiento preventivo a los sitios de mayor impacto, optimizando el recurso, mejorando los indicadores y prolongando la vida útil del activo.

1.4. Antecedentes

En esta sección, se hace referencia a algunos antecedentes relacionados con la presente investigación, cada uno corresponde a investigaciones previas relacionadas con algún tema abordado en el presente trabajo y que, por tanto, aportan información relevante previamente realizada.

1.4.1. Antecedentes internacionales

El estudio de las corrientes como medio para la localización de fallas en las redes de distribución eléctrica es abordado por Gómez, et al. (2023) en el artículo denominado: “*Estudio para la localización de fallas en sistemas de distribución eléctrica*”, publicado en la *Revista de Ciencia y Tecnología Ingenius* de la Universidad Politécnica Salesiana.

En el artículo, Gómez, et al. (2023) propusieron una metodología para localización de fallas en un sistema de distribución eléctrica con base en el procesamiento de las señales de corrientes de cortocircuito, utilizando para ello, el software de simulación de sistemas de potencia CYME y empleando la transformada Wavelet. La transformada Wavelet, como herramienta matemática que permite descomponer una señal en diferentes componentes de frecuencia, fue útil para identificar las características transitorias de las corrientes de falla, lo cual facilitaba su localización.

Adicionalmente, Gómez et al. (2023) analizaron el método del árbol mínimo en expansión para optimizar la localización de las fallas y minimizar el tiempo de restablecimiento. El análisis tomó en cuenta la ubicación de los reconectadores en la red de distribución, los cuales registran y almacenan de información durante los eventos de falla. Este método, que busca encontrar la ruta más eficiente para conectar todos los nodos de la red, permitió determinar la ubicación óptima de los reconectadores y mejorar la coordinación de las protecciones (Gómez et al., 2023). Los reconectadores son dispositivos de protección que interrumpen y restablecen automáticamente el servicio, además de jugar un papel fundamental en el registro y almacenamiento de la información de los eventos de falla.

Gómez, et al. (2023) concluyeron que la metodología implementada permitía la localización precisa de fallas en la red de distribución eléctrica mediante el análisis de las señales de corriente de cortocircuito registradas por los reconectadores cercanos a la ubicación de la falla. La anterior afirmación es válida para escenarios donde no se produzcan cambios significativos de la impedancia en las líneas de distribución eléctrica,

limitación importante de considerar al aplicar la metodología en redes dinámicas o con alta penetración de generación distribuida.

El presente trabajo de investigación, al igual que en el estudio de (Gómez, et al., 2023), reconoce la importancia del registro y almacenamiento de las corrientes de falla (corrientes de cortocircuito) como información clave para la ubicación de las fallas. Sin embargo, este trabajo se diferencia en que se enfoca en el diseño e implementación de una herramienta interactiva para la integración y visualización de los datos de falla de múltiples equipos de protección, en lugar de centrarse exclusivamente en la localización de la falla.

Ambos enfoques son complementarios y la herramienta propuesta podría utilizarse en conjunto con metodologías de localización de fallas de (Gómez, et al., 2023) para optimizar la eficiencia del análisis, lo cual realza la importancia de este antecedente en esta investigación.

Como segundo antecedente internacional, se presenta la tesis de grado de Fenco Custodio (2021) realizada en la Universidad del Santa, Perú y titulada “*Coordinación de protección de MT 22.9 kV para la continuidad del servicio de la red eléctrica del SE Pallasca AMT Pal002*”.

En su tesis, Fenco Custodio (2021) abordó la problemática presentada en la selectividad del sistema de protección de la red de distribución. La selectividad referente a la capacidad del sistema de protección para aislar únicamente la parte de la red afectada por la falla, minimizando las interrupciones en otras áreas, se ve comprometida por los desajustes en los equipos de protección. Por lo tanto, conduce a un deterioro de la calidad del servicio y a un incremento y prolongación en las averías registradas.

Para lograr el objetivo de mejorar la selectividad, Fenco Custodio (2021) utilizó el software de análisis de sistemas de potencia Digsilent Power Factory, con el cual modeló la red de distribución eléctrica y obtuvo los datos teóricos de corrientes de cortocircuito, los cuales son necesarios para determinar un esquema de coordinación de protecciones

teóricamente efectivo. Digsilent Power Factory es una herramienta ampliamente utilizada en la industria eléctrica para el análisis de flujos de potencia, cortocircuitos, estabilidad y otros estudios de sistemas de potencia.

Como resultado, Fenco Custodio (2021) propuso un esquema de protecciones modificado, el cual proporcionaba una mayor selectividad y, en consecuencia, una mejora en la calidad del servicio, como producto de la disminución de las averías registradas y asociadas a problemas de coordinación de las protecciones.

Si bien la coordinación de protecciones no es el tema central de esta investigación, la tesis de Fenco Custodio (2021) es relevante porque destaca la importancia de contar con datos precisos y confiables para evaluar la efectividad de los esquemas de protección. El *dashboard* interactivo diseñado e implementado en la presente investigación proporcionará datos que pueden utilizarse para visualizar, de manera fácil y continua, la efectividad de los esquemas de protección de la red de distribución. Ello potencia la optimización continua de la operación y el mantenimiento de la red.

Como tercer antecedente internacional, se presenta la tesis realizada en la Universidad César Vallejo por Chávez Ninatanta y Mallma Vega (2022) titulada: *“Optimización del servicio eléctrico, mediante el incremento de la confiabilidad del alimentador CHS033 9NA SUR, de la S.E. CHIMBOTE SUR-HIDRANDINA”* correspondiente a un circuito de distribución en Perú.

En su tesis, Chávez Ninatanta y Mallma Vega (2022) presentaron como objetivo la mejora del servicio eléctrico brindado por un circuito específico. Los indicadores de continuidad del servicio eléctrico, como el SAIDI (Índice de Duración Promedio de Interrupción del Sistema) (equivalente al DPIR) y el SAIFI (Índice de Frecuencia Promedio de Interrupción del Sistema) superaban los límites permitidos por la autoridad reguladora. Por lo tanto, se requería atención para evitar la afectación a los clientes y las posibles penalizaciones por incumplimiento de la normativa establecida.

Mediante la estadística de los eventos registrados, Chávez Ninatanta y Mallma Vega (2022) realizaron un análisis de frecuencia, causas y ubicación de las fallas. Para complementar este análisis, se apoyaron en inspecciones visuales y en imágenes termográficas para lograr establecer un plan que implicaba varias acciones, tanto en los elementos propios de la red, como en la servidumbre de paso. El plan incluía la periodicidad de cada acción por ejecutar, así como la frecuencia de la evaluación de los indicadores.

Según concluyeron Chávez Ninatanta y Mallma Vega (2022), en un periodo de dos años, los indicadores de continuidad del servicio eléctrico disminuyeron a valores dentro del rango establecido por la autoridad reguladora. Esto impactó, en forma positiva, la percepción de los clientes y excluyó a la empresa distribuidora de una posible multa por incumplimiento de la normativa técnica.

En el presente estudio, al igual que en la tesis de Chávez Ninatanta y Mallma Vega (2022), se considera la estadística de averías como herramienta valiosa para la mejora de los indicadores de continuidad del servicio eléctrico. En el actual contexto, la normativa vigente emitida por la ARESEP es un punto de referencia para mantener al ICE por debajo de los indicadores límite establecidos y, consecuentemente, evitar sanciones y afectación a los clientes servidos.

El cuarto antecedente internacional, se centra a la tesis realizada por Bedoya Ocampo (2024) en la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, y titulada: *“Análisis de estrategia de detección de fallas incipientes para redes de distribución con cables subterráneos basado en similitudes de voltaje”*.

Bedoya Ocampo (2024) expuso una estrategia para la detección temprana de fallas denominadas incipientes, las cuales son un tipo de falla que ocurre comúnmente en las uniones de cables en sistemas subterráneos de distribución eléctrica urbana. Estas fallas son difíciles de detectar y diferenciar de otros eventos transitorios, pero tienen el potencial de evolucionar y causar fallas prolongadas, interrupciones del servicio y daños

a la red. La detección temprana permite la planificación de intervenciones de mantenimiento programadas, lo cual puede reducir los costos asociados con fallas mayores.

La metodología propuesta por Bedoya Ocampo (2024) utilizó funciones de similitud para distinguir fallas incipientes de otros eventos transitorios. Las funciones de similitud son técnicas que cuantifican el grado de parecido entre dos señales o formas de onda. En este caso, se empleó la correlación cruzada en una primera etapa para detectar cambios en la señal de voltaje y determinar el tiempo de perturbación. Luego, en una segunda etapa, se comparó la forma de onda de la tensión registrada con una curva sinusoidal para diferenciar las fallas incipientes de otros eventos transitorios relacionados con la carga, como cambios de carga súbita, conmutación de bancos de condensadores y cambios en la carga armónica.

Bedoya Ocampo (2024) concluyó que la metodología propuesta era altamente efectiva para la detección de fallas incipientes. Sin embargo, señaló que la metodología tenía limitaciones y no era 100 % fiable, especialmente en situaciones complejas donde ocurrían eventos de diferente tipo simultáneamente o cuando los transitorios eran de muy corta duración. En estos casos, la metodología puede generar falsos positivos (identificar erróneamente una falla incipiente) o falsos negativos (no detectar una falla incipiente existente).

En contraste con el enfoque de Bedoya Ocampo (2024), que se centra en el análisis de la tensión y la forma de onda en tiempo real para la detección temprana de un tipo específico de falla, la presente investigación se enfoca en el uso de datos históricos de eventos de falla para detectar, ubicar y proporcionar información valiosa para los programas de mantenimiento preventivo en las redes de distribución eléctrica en estudio. Ambos enfoques son complementarios, pues buscan optimizar la gestión de la confiabilidad de las redes de distribución.

1.4.2. Antecedentes nacionales

En Costa Rica, se han realizado estudios que complementan la presente investigación y cuyo aporte es de suma importancia al corresponder al mismo contexto geográfico. Seguidamente, se citan las más relevantes y recientes encontradas para el presente estudio:

Como primer antecedente nacional, se presenta el tema de la simulación de las redes de distribución eléctrica, considerando los efectos de los recursos distribuidos, abordado en el artículo “*Modelado de redes de distribución usando ETAP*” por Solís Ortega, et al. (2025) publicado en la *Revista Tecnología en Marcha* del Tecnológico de Costa Rica.

En el artículo, Solís Ortega, et al. (2025), mencionaron los nuevos retos enfrentados por la operación de las redes de distribución sometidas a la inyección de recursos distribuidos. Los recursos distribuidos, como la generación distribuida proveniente de paneles solares y turbinas eólicas, pueden tener un impacto significativo en el comportamiento de las redes de distribución, generando variaciones en el voltaje, flujos de potencia bidireccionales y otros fenómenos complejos. Para abordar estos retos, Solís Ortega, et al. (2025) plantearon la utilización de software avanzado de análisis de sistemas de potencia como ETAP para simular el comportamiento de la red bajo diferentes niveles de penetración de los recursos distribuidos. En ese sentido, ETAP es una herramienta ampliamente utilizada en la industria eléctrica para el análisis de flujos de potencia, cortocircuitos, estabilidad y otros estudios de sistemas de potencia.

Solís Ortega, et al. (2025) concluyeron que, con el software ETAP, se logró modelar la capacidad de alojamiento de los circuitos en estudio, considerando las variables de tensión, sobrecarga y corrientes de cortocircuito. El modelado permitió asegurar la estabilidad operativa de la red de distribución, cumpliendo con los límites establecidos en la normativa vigente de Costa Rica (ARESEP).

En el presente trabajo de investigación, al igual que en el estudio de Solís Ortega, et al. (2025), se reconoce la importancia del modelado de la red de distribución como punto de partida para la coordinación de protecciones. La coordinación de protecciones se basa en los valores teóricos de corrientes eléctricas que ocurren durante eventos de falla (corrientes de falla o corrientes de cortocircuito), una variable eléctrica que es inversamente proporcional a la distancia entre el equipo que registra el evento y el sitio donde ocurre la pérdida de aislamiento (punto de falla).

Por tal razón, el artículo de Solís Ortega, et al. (2025) es un antecedente relevante para la presente investigación, ya que complementa el análisis para una eventual ubicación precisa de la falla en condiciones de penetración de los recursos distribuidos. Los valores teóricos de corrientes de falla obtenidos mediante el modelado pueden compararse con los valores reales registrados en los equipos de protección de la red eléctrica, lo que permite validar los modelos y mejorar la precisión y optimización de la localización de fallas.

Como segundo antecedente nacional, se presenta la tesis realizada por Guevara Torres (2021) en el Tecnológico de Costa Rica y titulada: *“Diseño de un sistema de monitoreo de modos de falla para transformadores de tipo poste, empleados en la red de distribución de la Región Huetar (Caribe) del ICE, Cóncevas”*.

En su tesis, Guevara Torres (2021) planteó una posible solución a la problemática derivada de la no gestión de activos y la ausencia de monitoreo de variables en los transformadores de distribución del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La no gestión de activos, la cual implica la falta de un seguimiento y mantenimiento adecuado de los equipos, puede llevar a un deterioro prematuro de los transformadores, un aumento en las fallas, interrupciones del servicio, mayores costos de reparación o reemplazo, y una menor eficiencia del sistema.

Como propuesta, Guevara Torres (2021) desarrolló un sistema de hardware y software para el monitoreo en campo de los transformadores de distribución durante

periodos de 7 días. El sistema registra variables eléctricas como voltaje, corriente y potencia, así como variables de temperatura del aceite y del devanado. Estos datos se utilizan para el posterior análisis estadístico y la detección de posibles modos de falla. Con este análisis, se propusieron acciones correctivas en caso de requerirse según la condición encontrada, evitando el colapso del transformador y, en consecuencia, la afectación a los clientes y el incremento de los costos operativos.

Como resultado, Guevara Torres (2021) obtuvo un prototipo que cumplía con la lógica y el registro de datos planteados, además de tenía viabilidad económica con una recuperación de la inversión de 3.5 años.

La planteado por Guevara Torres (2021) comprende el análisis integrado de variables eléctricas y de temperatura asociadas a un elemento específico de la red, como lo son el transformador de distribución. De manera similar, la presente investigación se enfoca en el diseño e implementación de una herramienta interactiva para la integración y visualización de datos de eventos de falla de reconectadores, lo cual optimiza el análisis de variables eléctricas a nivel de la tensión en las líneas de distribución.

Por consiguiente, ambos análisis son complementarios e, incluso, podrían integrarse para tener una perspectiva más amplia para la gestión preventiva del mantenimiento de la red de distribución eléctrica, lo cual permitiría una visión más completa del estado de la red y una mejor toma de decisiones.

Como tercer antecedente nacional, se presenta el informe oficial de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) realizado por Villalobos (2024) y denominado: *“Informe de calidad eléctrica del servicio de distribución 2023 - ARESEP”*. La ARESEP es la entidad reguladora del sector energético en Costa Rica, por tanto, es responsable de supervisar y regular la calidad de los servicios públicos, incluyendo la distribución de electricidad y las causas predominantes de averías.

En su informe, Villalobos (2024) expuso los indicadores de continuidad de todas las empresas distribuidoras del país con base en los datos aportados por cada empresa

al ente regulador mensualmente. Los indicadores de continuidad son medidas que evalúan la calidad del servicio eléctrico desde la perspectiva del cliente. Los indicadores mayormente referidos por Villalobos (2024) incluyeron los más relevantes definidos en el documento normativo nacional publicado por la Autoridad Reguladora y titulado: “*Norma técnica de la supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCAL 2015 actualizada a febrero 2016*”:

- **Duración promedio de la atención de las averías (DPA):** tiempo promedio que tarda la empresa distribuidora en atender una avería.
- **Frecuencia promedio de las averías percibidas por los clientes (FPI):** número promedio de averías que experimenta cada cliente en un período determinado.
- **Duración promedio de la interrupción del servicio (DPIR):** tiempo promedio que dura cada interrupción del servicio eléctrico.

En el estudio, Villalobos (2024) comparó dichos indicadores con los valores establecidos como límites aceptables por la ARESEP y con el promedio nacional, lo cual permite evaluar el desempeño de las empresas distribuidoras y la calidad del servicio eléctrico en el país.

Según Villalobos (2024), en el año 2023, la causa de las averías de los 10 circuitos con el indicador DPIR más desviado del valor promedio nacional fue la flora con un aporte total del 30.6 %. Este dato subraya una problemática recurrente en la distribución eléctrica. Aunque el circuito de Palmar Sur de la Subestación Palmar no forma parte de esos 10 circuitos principales, Villalobos (2024) también reportó que este circuito contabilizó 218 eventos por flora registrados en el año 2023. Además, el DPIR del Circuito Palmar Sur fue de 39.04 horas, el cual representa valor significativamente superior al límite normativo de referencia de 6 horas establecido por ARESEP.

Estas cifras evidencian una brecha crítica en la capacidad de análisis granular de las causas de las interrupciones. Si bien el informe de ARESEP proporciona estadísticas

agregadas y resalta las causas generales, no ofrece las herramientas para analizar en detalle los eventos de falla individuales a nivel de equipo y sus secuencias. Esta limitación dificulta la identificación precisa de los puntos débiles de la red y la optimización de los esquemas de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento.

En sus conclusiones, Villalobos (2024) recomendó la inversión en medición inteligente orientada a la implementación de redes inteligentes, reconociendo la necesidad de "nuevas formas de detectar, identificar y localizar los puntos de falla". La presente investigación contribuye directamente a satisfacer esta necesidad al diseñar e implementar una herramienta interactiva que integra y visualiza datos históricos de eventos de falla de los reconectadores. A diferencia de las estadísticas agregadas de ARESEP, el *dashboard* interactivo permite la visualización detallada de variables como secuencia de operaciones, magnitudes de corriente de falla por fase y tipo de evento a nivel de equipo. Esto facilita la optimización del análisis de la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento preventivo, al permitir la identificación proactiva de patrones y zonas de riesgo relacionadas con causas como la vegetación y la fauna. De esta manera, el *dashboard* actúa como una solución tangible y de menor escala para abordar la necesidad de una gestión de datos más eficiente, complementando las recomendaciones a largo plazo de inversión en redes inteligentes.

La presente investigación contribuye a satisfacer esta necesidad de optimizar el análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento al buscar la detección temprana de fallas permanentes producto del avance paulatino, pero constante, de la vegetación que rodea las redes eléctricas, especialmente las rurales. La vegetación propicia la cercanía de la fauna a las redes de distribución y también es responsable de una gran parte de las averías con causa no identificada. El *dashboard* interactivo a diseñar e implementar en este estudio abordará la necesidad de una visualización integrada de datos de fallas para mejorar la toma de decisiones, lo cual es fundamental para optimizar la respuesta a estas causas predominantes de averías.

Como cuarto antecedente nacional, se presenta la tesis de grado realizada por Mondragón (2023) en el Tecnológico de Costa Rica y titulada: *“Análisis y optimización de la coordinación de protecciones en redes de distribución eléctrica de Costa Rica con alta penetración de generación distribuida”*.

En su tesis, Mondragón (2023) abordó los desafíos impuestos por la creciente integración de recursos de generación distribuida (como paneles solares) a la coordinación de protecciones en las redes de distribución eléctrica de Costa Rica. La inyección bidireccional de potencia y los cambios en los niveles de corriente de falla requieren una revisión y optimización de los esquemas de protección tradicionales para mantener la selectividad y la confiabilidad del sistema. Para ello, la investigación de Mondragón (2023) se centró en el modelado y la simulación de redes de distribución utilizando software especializado de análisis de sistemas de potencia, buscando identificar configuraciones óptimas de relés y reconectores que aseguraran una coordinación efectiva bajo estas nuevas condiciones operativas.

Mondragón (2023) concluyó que era posible optimizar la coordinación de protecciones en escenarios con alta penetración de generación distribuida mediante ajustes específicos en los parámetros de los dispositivos, logrando así reducir los tiempos de interrupción y mejorar los indicadores de continuidad del servicio.

Este antecedente es de suma relevancia para la presente investigación, pues se enfoca directamente en la coordinación de protecciones en el contexto nacional de Costa Rica al abordar la optimización de esquemas en redes de distribución con desafíos modernos. La tesis de Mondragón (2023) es un excelente ejemplo de cómo se diseñan y se proponen soluciones para la coordinación óptima de protecciones a nivel teórico o de simulación.

Sin embargo, a pesar de la sofisticación de los estudios teóricos de coordinación, existe un vacío crítico entre el diseño óptimo de un esquema de protecciones y la validación de su desempeño en condiciones reales de operación. Los resultados de

Mondragón (2023) se basan en modelos simulados, y la confirmación de la efectividad de sus propuestas requiere un análisis continuo de los datos de eventos de falla registrados por los equipos en campo.

La herramienta interactiva diseñada e implementada en la presente investigación complementa directamente este tipo de antecedentes. Mientras Mondragón (2023) propuso *cómo optimizar* la coordinación desde una perspectiva de diseño, el *dashboard* interactivo desarrollado en este estudio permite analizar los datos históricos reales de los reconectores para evaluar la efectividad de los esquemas de protección implementados en el Circuito Palmar Sur. Esto facilita la identificación de si el esquema diseñado teóricamente opera en forma selectiva en la práctica y si contribuye a la optimización continua de la operación y el mantenimiento de la red. Por lo tanto, ambos estudios son altamente complementarios para lograr una gestión integral de la protección de las redes de distribución.

Tanto los antecedentes internacionales, como los nacionales complementan la presente investigación. Sin embargo, existe el vacío de la integración de datos de diferentes equipos de protección, lo que limita la visualización ágil de diversas variables eléctricas y dificulta la toma de decisiones para la mejora continua de los esquemas de protección implementados (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025). La presente investigación busca diseñar e implementar una herramienta interactiva que aborde este vacío, propiciando la optimización de los esquemas de coordinación de protecciones y suministrando insumos claves para el enfoque de los programas de mantenimiento en la Región Brunca.

1.5. Proyecciones

Esta sección describe las proyecciones de la presente investigación, por tanto, se detallan resultados esperados, condiciones y restricciones bajo las cuales se realizará el estudio al presentar indicadores claros para justificar su alcance y viabilidad.

1.5.1. Implementación inicial en el Circuito Palmar Sur

La herramienta interactiva se desarrollará y se implementará inicialmente en el circuito de distribución eléctrica denominado Palmar Sur, el cual es alimentado desde la Subestación Palmar ubicada en la Región Brunca, cantón de Osa, Puntarenas. Los equipos de protección considerados para descarga, tratamiento y visualización de datos incluyen las marcas NULEC y NOJA instaladas en dicho circuito, abarcando los dispositivos en condición operativa trifásicos y monofásicos.

1.5.2. Facilitación de análisis y optimización en el Circuito Piloto

La implementación de la herramienta en el Circuito Palmar Sur permitirá visualizar, de manera eficiente, los datos de fallas registrados por los equipos de protección, lo cual facilitará la identificación de patrones de eventos falla por sector y la evaluación de la efectividad de la coordinación de protecciones.

Visualizar, en forma clara y concisa, la información relevante para la planificación del mantenimiento contribuirá a optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo.

1.5.3. Extrapolación a otros circuitos y subestaciones del ICE

Se espera que los resultados obtenidos en el Circuito Palmar Sur puedan ser extrapolados e implementados, posteriormente, en los restantes circuitos de la Subestación Palmar y, con las adaptaciones necesarias, en los circuitos de otras subestaciones del ICE en el país.

1.5.4. Integración limitada de sensores de corriente: restricción técnica

Los datos de las variables eléctricas de interés también pueden ser monitoreados por sensores de corriente instalados estratégicamente a lo largo de los circuitos. Estos sensores proporcionarían información adicional sobre el comportamiento de la corriente

en diferentes puntos de la red, complementando los datos de los equipos de protección y permitiendo una visualización y análisis más completo de los eventos de falla. Sin embargo, la instalación de estos sensores en el ICE, Región Brunca, está en etapa de implementación, por tanto, su integración en este trabajo es una limitante técnica.

Asimismo, se sugiere su posterior integración en futuras investigaciones para enriquecer la visualización y análisis de datos en pro de una mejora en la precisión en la ubicación del sector donde ocurre las fallas.

1.5.5. Restricciones de software y publicación: restricción institucional

Las políticas de seguridad informática del ICE solo permiten la instalación y el uso de software licenciado por la institución; por tanto, cualquier opción informática requerida en la investigación debe ser parte del conjunto de herramientas disponibles en la institución. De igual forma, la publicación de resultados en alguna plataforma disponible queda limitada al acceso desde la intranet, es decir, no se permite la publicación a lo externo del ICE.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

El presente capítulo establece el marco teórico base para el diseño e implementación de una herramienta interactiva para la integración y visualización de datos de eventos de falla registrados en múltiples equipos de protección de media tensión en la red de distribución eléctrica del ICE, Región Brunca, Subestación Palmar, Circuito Palmar Sur, iniciando con una revisión de los conceptos fundamentales relacionados con los equipos de protección y la estructura de sus datos.

Luego, se explorarán las metodologías para la integración y análisis de datos multiformato, y se finaliza con la importancia de una visualización, de fácil y ágil interpretación, que contribuya a optimizar el análisis de coordinación de protecciones y a orientar, de manera enfocada, los programas de mantenimiento de las redes de distribución eléctrica regionales. Este marco teórico proporcionará la base conceptual y teórica necesaria para el diseño, desarrollo e implementación de la herramienta propuesta, así como para la interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

La información presentada se basa en la revisión de literatura técnica y científica relevante para cada uno de los objetivos específicos de esta investigación.

2.2. Equipos de protección de redes de distribución o reconectadores

Este apartado aborda el primer objetivo específico, en busca de analizar el proceso de descarga y almacenamiento de los datos de eventos de falla. Para ello, es fundamental comprender los equipos de protección utilizados en redes de distribución eléctrica, especialmente los utilizados por el ICE en el Circuito Palmar Sur en la Región Brunca. Los reconectadores son dispositivos de protección automáticos diseñados para interrumpir y restablecer el servicio eléctrico en redes de distribución.

2.2.1. Principios de operación de reconectores

Para comprender la operación de los reconectores, es necesario comprender el concepto de corriente de falla en el contexto de los sistemas eléctricos de potencia, la cual se refiere al flujo de corriente anormalmente elevado que se produce cuando un defecto o falla altera el valor normal de la corriente en un circuito eléctrico (Glover, et al., 2017).

Una falla puede ser el resultado de un cortocircuito entre dos o más fases, o bien, entre una o más fases y tierra, estas corrientes elevadas se generan debido a una reducción significativa del aislamiento en el punto de falla, lo que provoca que la corriente exceda los límites de operación normales del sistema.

Calcular y comprender la magnitud de la corriente de falla es fundamental para el diseño y la coordinación de los sistemas de protección, ya que estos dispositivos deben ser capaces de detectar e interrumpir, de manera segura, estas corrientes para aislar la sección fallada de la red y proteger la red misma y los equipos conectados a esta (Glover, et al., 2017).

En forma simplificada, la corriente de falla (I_f) en un punto del sistema puede estimarse utilizando la Ley de Ohm, donde se considera la tensión en el punto de falla antes de la falla y la impedancia total del sistema hasta ese punto (Glover, et al., 2017):

$$I_f = V_f / Z_f$$

Donde:

I_f : corriente de falla (en Amperios, A).

V_f : Tensión fase-tierra o fase-fase en el punto de falla antes de la falla (en voltios, V).

Z_f: Impedancia total de falla vista desde el punto de falla (en Ohmios, Ω). Esta impedancia incluye la impedancia de la fuente, de las líneas de transmisión y distribución, y la impedancia en el punto de falla mismo (p.120).

El funcionamiento de los reconectores se basa en la detección de condiciones de sobrecorriente o corriente de falla al indicar la presencia de una condición anormal en el sistema (Blackburn y Domin, 2006). Al detectar una sobrecorriente, el reconector abre sus contactos para interrumpir el flujo de corriente y aislar la sección de la red donde se produjo la falla. Posteriormente, este puede realizar una serie de operaciones de cierre y apertura (ciclos de reconexión) para verificar si la falla es transitoria o permanente.

Esta capacidad de reconexión automática permite despejar la falla y restablecer el servicio rápidamente en caso de fallas transitorias, como las causadas por el roce en la caída de ramas de árboles, además del aislamiento permanente de las fallas sostenidas, minimizando las interrupciones del servicio a los clientes y protegiendo el activo de daños mayores.

El accionamiento del reconector comienza con la detección de una condición anormal en la red. Típicamente, es una sobrecorriente causada por un cortocircuito entre fases o una falla a tierra mediante sensores de corriente instalados en sus terminales. Estos permiten el monitoreo continuo de la corriente en las fases de la red, por cuanto, al detectar una corriente que excede un valor predeterminado (ajuste de pick-up), el reconector inicia su secuencia de operación.

La secuencia de operación de un reconector consiste en una serie de aperturas y cierres automáticos definidos por usuario que lo parametriza con base en un esquema de coordinación que normalmente considera el despeje de fallas transitorias, las cuales son la mayoría de las fallas en las redes de distribución. Al detectar una sobrecorriente, el reconector abre sus contactos, interrumpiendo el flujo de corriente, después de un breve intervalo de tiempo (tiempo de recierre), el reconector cierra sus contactos automáticamente.

Posterior a esa primera secuencia, si la falla fue transitoria, la interrupción momentánea del flujo de corriente la habrá despejado, y el reconectador permanecerá cerrado, restableciendo el servicio; mientras que si la falla persiste, la sobrecorriente volverá a ocurrir, y el reconectador repetirá la secuencia tantas veces como esté programado (generalmente de 2 a 4). Además, si la falla persiste después del número máximo predeterminado de operaciones, el reconectador abre y se bloquea, aislando permanentemente la sección de la red con la falla (Blackburn y Domin, 2006).

La coordinación de protecciones es un aspecto fundamental del adecuado funcionamiento de los reconectadores. Por tanto, estos deben coordinarse con otros dispositivos de protección en la red (fusibles, otros reconectadores, relés) para asegurar que la falla sea aislada de la manera más rápida y selectiva posible. La selectividad implica que solo el dispositivo de protección más cercano a la falla debe operar a través de la minimización de las interrupciones en otras partes de la red (Lozada Rincón, 2019).

Una adecuada coordinación se logra mediante el ajuste de las curvas de tiempo-corriente de los dispositivos de protección, estas definen el tiempo de respuesta de espera para apertura del dispositivo en función de la magnitud de la corriente de falla. Los reconectadores permiten ajustar los tiempos de recierre, las corrientes de pick-up y las curvas de tiempo-corriente para lograr la coordinación adecuada. Los reconectadores modernos están equipados con controles electrónicos avanzados que permiten mayor flexibilidad y la protección ante eventos adicionales relacionados con la frecuencia, ligadura de fase, fase abierta, desbalances de cargas, tensiones entre otros.

Los reconectadores pueden operarse localmente, desde el panel de control, o bien, remotamente, a través de sistemas SCADA o dispositivos de comunicación. Asimismo, permiten implementar esquemas de automatización de la red, como la reconfiguración automática para restaurar el servicio a las secciones no falladas. En forma adicional, registran los datos de los eventos, mediciones de corriente y tensión, y otra información relevante sobre el estado de la red (Blackburn y Domin, 2006).

Estos datos son esenciales para el análisis de fallas, la evaluación del desempeño del sistema de protección y la planificación del mantenimiento.

El diseño, la fabricación y las pruebas de los reconectadores se rigen por normas y estándares internacionales, tales como:

- **IEEE C37.60/IEC 62271-111:** High-voltage switchgear and controlgear - Part 111: Automatic circuit Reclosers for alternating current systems up to and including 38 kV.
- **IEC 62271-1:** High-voltage switchgear and controlgear-Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear.
- **IEEE 1815 (DNP3):** IEEE Standard for Electric Power Systems Communications-Distributed Network Protocol (DNP3).

Estas normas establecen los requisitos para las características eléctricas, mecánicas y de protección de los reconectadores, así como los procedimientos de prueba y los métodos de comunicación. Por otra parte, los reconectadores operan bajo la norma IEEE C37.2, con curvas tiempo-corriente para coordinación selectiva (*IEEE Standards Association*, s. f.).

2.2.2. Características técnicas de reconectadores y sus requerimientos según especificaciones ICE

Los reconectadores, los cuales son dispositivos vitales para la protección y el control de las redes de distribución eléctrica, deben cumplir con rigurosas especificaciones técnicas para garantizar su correcto funcionamiento, apegado a normas y estándares internacionales. En el caso del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), estas especificaciones se detallan en los documentos licitatorios que establecen los requerimientos que los equipos deben satisfacer para ser adquiridos e instalados en sus redes. Este subtema explora las características técnicas de los reconectadores, con un

enfoque particular en los datos históricos de eventos y su formato, basándose en las especificaciones del ICE y en los objetivos de esta investigación.

2.2.2.1. Requerimientos técnicos generales del ICE

Los reconectadores adquiridos por el ICE deben cumplir con una serie de requerimientos técnicos generales, los cuales aseguran su adaptabilidad a las condiciones específicas de las redes de distribución del país y su interoperabilidad con los sistemas de control y supervisión existentes (ICE, 2020):

- Condiciones de servicio: los reconectadores deben ser capaces de operar en las diversas condiciones climáticas y ambientales presentes en Costa Rica, incluyendo trópico húmedo y seco, altitudes desde el nivel del mar hasta los 3300 m.s.n.m., temperaturas de -2°C a 45°C, alta humedad relativa, y ambientes salinos y volcánicos.
- Características eléctricas: estos equipos deben cumplir con los valores nominales de tensión (34.5 kV), tensión de diseño (no menor de 38 kV), nivel básico de impulso (NBI) (no menor de 170 kV), capacidad interruptiva simétrica (no menor de 12 kA), corriente nominal (no menor de 800 A) y frecuencia (60 Hz).
- Características físicas: los reconectadores deben ser aptos para instalación en postes, resistentes a la corrosión, y diseñados para facilitar su transporte, instalación y mantenimiento. Deben contar con indicadores de estado de apertura/cierre visible desde el suelo y mecanismos para apertura manual de emergencia.
- Control electrónico: es requisito que estén equipados con un control electrónico basado en microprocesador, que permita la programación, la operación local y remoto, la indicación y la medición de variables eléctricas. Este control debe ser confiable, seguro y fácil de operar.
- Comunicaciones: el control debe contar con puertos de comunicación (RS-232, Ethernet, USB) y soportar protocolos de comunicación (DNP3, IEC 60870-5-104, IEC 61850) para su integración en los sistemas SCADA del ICE.

- Protección: los reconectadores deben incluir funciones de protección ajustables, como sobrecorriente, sobretensión, falla a tierra, etc., y permitir la configuración de secuencias de recierre.
- Pruebas: los reconectadores deben someterse a pruebas de tipo y de rutina para verificar su cumplimiento con las especificaciones y los estándares aplicables.

2.2.2.2. Requerimiento ICE en datos históricos de eventos y su formato

Un aspecto prioritario para el análisis de fallas y la mejora de la operación y el mantenimiento de las redes de distribución eléctrica es la disponibilidad y el formato de los datos históricos de eventos registrados por los reconectadores. El ICE establece requerimientos detallados sobre el registro y almacenamiento de esta información (ICE, 2020).

- Registro de eventos: los reconectadores deben tener la capacidad de almacenar, en una memoria no volátil, un registro detallado de los eventos ocurridos en la red, incluyendo como mínimo:
 - Cambios de estado del reconectador (apertura, cierre, bloqueo).
 - Cambios en los ajustes del equipo.
 - Datos de falla (magnitud, tipo, fase).
 - Bloqueo del reconectador.
 - Pérdida de alimentación auxiliar.
 - Encendido del control.
- Estampa de tiempo: los eventos deben registrarse con una estampa de tiempo (fecha y hora) con una resolución mínima de 1 ms para permitir el análisis secuencial de eventos y la trazabilidad de las fallas.
- Capacidad de almacenamiento: el control debe tener la capacidad de almacenar al menos 10,000 eventos, lo cual permite registrar un historial amplio de la operación del reconectador.

- Exportación de datos: los registros de eventos podrán descargarse y exportarse en formatos estándar como PDF, XLS, CSV y XML con el fin de permitir la visualización y análisis de los datos en diferentes plataformas y herramientas.
- Sistema de gestión: el sistema de gestión del reconectador debe proporcionar herramientas para acceder, visualizar y analizar los registros de eventos. Adicionalmente, puede (no requisito) incluir funciones como filtrado, ordenamiento, búsqueda y generación de informes básicos.

En conclusión, las especificaciones técnicas de los reconectores, especialmente en lo referente al registro y almacenamiento de datos de eventos, son un factor clave para garantizar la confiabilidad, eficiencia y seguridad de las redes de distribución eléctrica. La disponibilidad de datos históricos de eventos en formatos estándar y con la información detallada requerida permite realizar visualizaciones y análisis valiosos para la operación, el mantenimiento y la mejora continua de las redes.

2.2.3. Marcas, software de gestión propietarios y estructura de datos

Cada fabricante de equipos de protección suele ofrecer software propietario para la configuración, monitoreo y descarga de datos de sus dispositivos; estos difieren significativamente entre marcas distintas. Dichos softwares permiten a los usuarios interactuar con sus reconectores para obtener información sobre su estado, ajustes y registros de eventos. El Área de Equipos Especiales de la Región Brunca cuenta con licencia para software de gestión WSOS de la marca NULEC y para la marca NOJA con el software CMS. Ambos softwares permiten la conexión local o remota con los reconectores de sus respectivas marcas. En este apartado, se abordan únicamente estas dos marcas (NULEC y NOJA), dado el alcance delimitado al Circuito Palmar Sur (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025).

2.2.3.1. Características principales del software de gestión WSOS.

WSOS (Windows Switchgear Operating System) es una aplicación basada en Windows para PC diseñada para la gestión, control y monitoreo de los reconectadores automáticos de la marca NULEC, la cual permite la gestión de los dispositivos tanto en forma remota, a través de enlaces de comunicación (módem, Ethernet TCP/IP, RS232/485), como localmente, mediante conexiones directas (USB, serial o Ethernet). Proporciona una interfaz gráfica de usuario que facilita el acceso a todas las funciones y el estado del equipo, pudiéndose personalizar la interfaz del operador según su necesidad (NULEC, s. f.)

Con WSOS, se puede realizar la configuración de todos los parámetros de protección (curvas de tiempo, ajustes de umbrales, etc.) y los ajustes de comunicación de los reconectadores, así como la operación remota de apertura y cierre de estos y el monitoreo en línea de su estado, las corrientes, los voltajes, las frecuencias, las potencias y otras variables eléctricas de interés.

Para un uso óptimo del espacio de memoria interna, WSOS posibilita la programación selectiva del almacenamiento de datos prioritarios, como registros de eventos (detección de sobre corrientes, operaciones de apertura y cierres, alarmas), oscilografías y mediciones periódicas de demanda, corrientes, tensiones y frecuencia. La información almacenada puede ser visualizada y extraída en forma local o remota en diferentes formatos.

WSOS facilita la personalización de la interfaz de usuario con etiquetas y mapeo de acciones a botones dedicados para adaptarse a aplicaciones específicas. En materia de seguridad, incorpora contraseñas a diferentes niveles jerárquicos para proteger la configuración y el control de los dispositivos. Adicionalmente, es posible la gestión de múltiples reconectadores desde una única plataforma en forma simultánea.

2.2.3.2. Interrogación de datos y estructura de datos con software WSOS

El software de gestión WSOS tiene dos métodos principales de descarga de datos, uno de ellos programable para descargas periódicas (ADR) y el segundo por petición del usuario (NULEC, s. f.)

El primer método mencionado denominado ADR (Automatic Data Retrieval) consiste en la descarga automática programada de los archivos de eventos y demanda, entre otros (ver **Figura 1**), a una carpeta específica definida por el usuario, en donde se guarda un único archivo en formato SQLite (ver **Figura 2**). Para cada equipo, el ADR genera una subcarpeta específica donde actualiza periódicamente los archivos programados para descarga automática.

Figura 1

Interfaz de parametrización del ADR en el software WSOS para equipos NULEC

ADR Configuration

OK	Cancel	Print	Use Default	Set As Default																						
Switchgear	Frequency	Day	Hourly	Start Time	End Time	Event Log	Event Filter	Average Demand	Daily Demand	Weekly Demand	Monthly Demand	Configurable History	Seg / Swell	Harmonic History	Waveform Capture	Read Switchgear Settings	Read Switchgear Settings Monthly	Compare Switchgear Settings	PC Clock Synchron.	Operations Count	Rated Interruption	Communications Fail Notification	Retry Time (minutes)	Retry Multiplier (times)	Attempt Connection (times)	Communication Settings
San Juan - Jimenez	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Punta Mala	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Playa Blanca	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Peñabeyre - Guagua	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Pacuarito	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Mercado Goffito	None	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
MaxiPalo_Queros	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
MaxiPalo	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
La Gamba	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Km 38	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Jungla Ventanas	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Hospital San Yllo	None	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Gaviotas	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Finca Limon	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Enlace Pacuarito	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Dominical_Savanna	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Dominical La Jum.	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
CruceDominical	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Ciro Solis Queros	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Cementerio-Faber	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Brugu-PasoReal	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
BahiaViva	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Alto San Juan PZ	None	-	-	20:00	05:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	
Alto San Juan	Daily	-	-	00:00	23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	3	Default	

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se parametriza la adquisición de datos automática (ADR). Captura tomada de software WSOS versión 5.16.26

Figura 2

Ejemplo de una carpeta con los archivos generados por el ADR



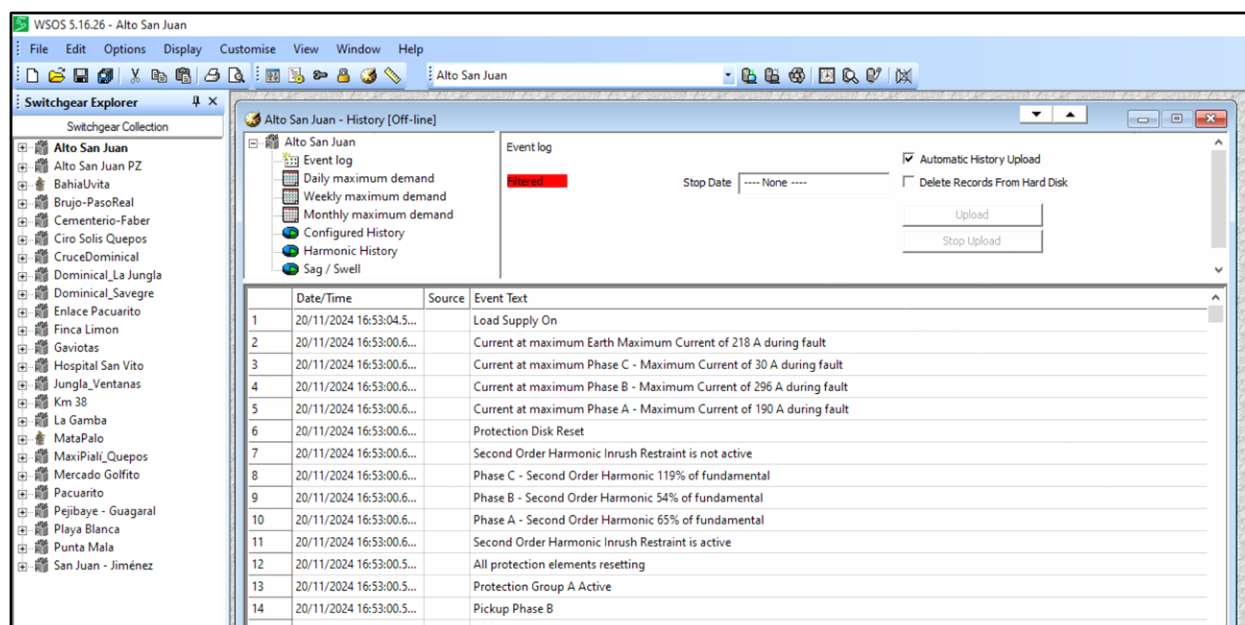
Nombre	Estado	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Pacuarito.sos5	☁	21/1/2022 12:05	Archivo SOS5	390 KB
Configurable.sqlite	☁	21/1/2022 12:04	Archivo SQLITE	7 752 KB
Daily.sqlite	☁	21/1/2022 12:05	Archivo SQLITE	400 KB
EventLog Raw.sqlite	☁	21/1/2022 12:05	Archivo SQLITE	18 208 KB
EventLog Text.sqlite	☁	21/1/2022 12:05	Archivo SQLITE	35 052 KB
HarmonicAnalysis.sqlite	☁	21/1/2022 12:04	Archivo SQLITE	89 240 KB
Monthly.sqlite	☁	1/10/2021 13:25	Archivo SQLITE	24 KB
SagSwell.sqlite	☁	21/1/2022 12:04	Archivo SQLITE	192 KB
Pacuarito.TimeStamp	☁	21/1/2022 12:05	Archivo TIMESTA...	1 KB
Pacuarito.weeklyMissing	☁	21/2/2022 20:28	Archivo WEEKLYM...	1 KB

Nota: La imagen muestra una captura de la carpeta generada automáticamente por el ADR, para un equipo específico en donde almacena los datos exportados. Captura tomada de archivos personales en *OneDrive Institucional ICE*.

En el segundo método, el usuario debe ingresar al software WSOS (ver **Figura 3**), seleccionar los datos históricos incluyendo el rango de fechas y exportarlo a un archivo, con formato de texto (.txt) (ver **Figura 4**). o separado por comas (.csv) (ver **Figura 5**), a la carpeta o repositorio de preferencia. Esta opción no es automática y el usuario debe realizarlo con la periodicidad que lo requiera, generando un nuevo archivo en cada sesión.

Figura 3

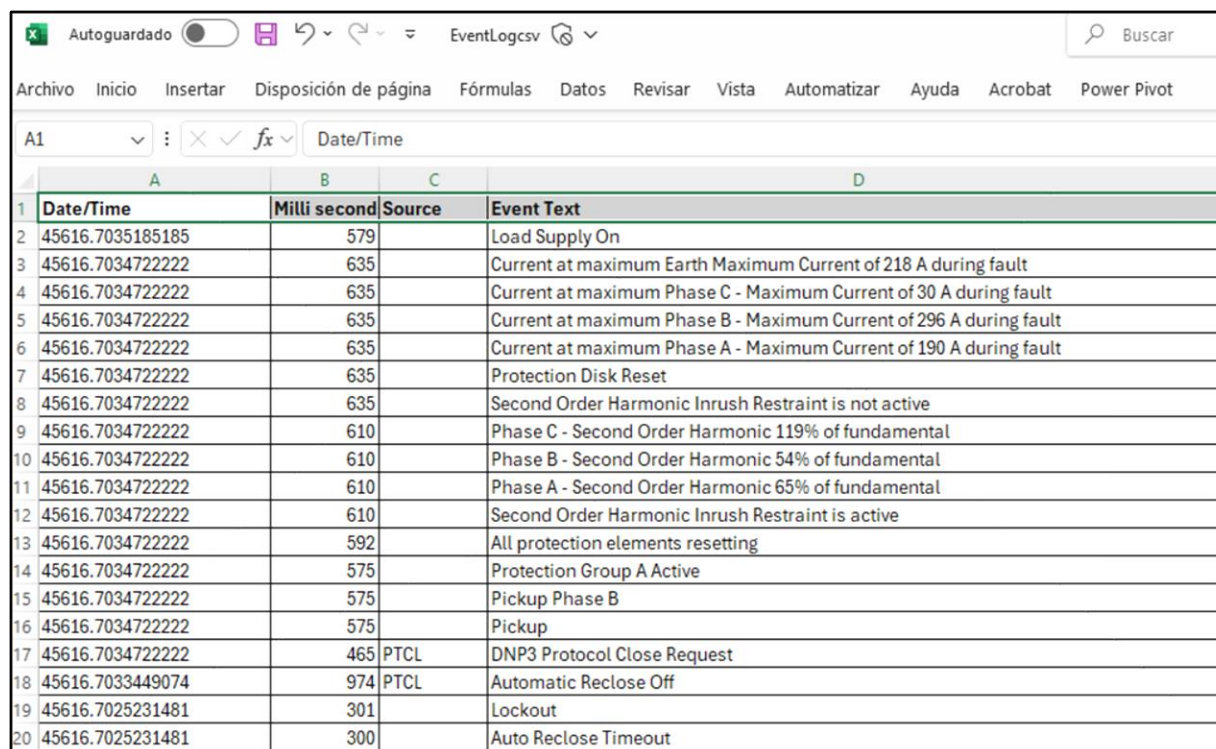
Interfaz de parametrización del ADR en el software WSOS para equipos NULEC



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se parametriza y ejecuta la descarga manual de los eventos y datos requeridos. Captura tomada de software WSOS versión 5.16.26.

Figura 4

Estructura de datos en formato CSV exportados desde el software WSOS para equipos NULEC

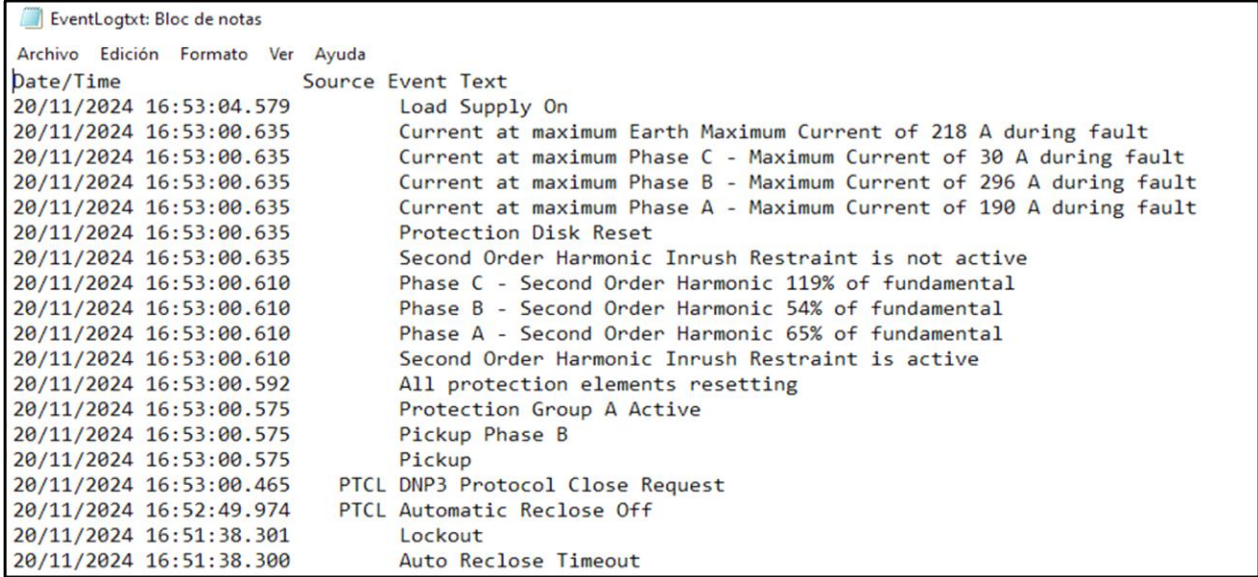


	A	B	C	D
	Date/Time	Milli second	Source	Event Text
2	45616.7035185185	579		Load Supply On
3	45616.7034722222	635		Current at maximum Earth Maximum Current of 218 A during fault
4	45616.7034722222	635		Current at maximum Phase C - Maximum Current of 30 A during fault
5	45616.7034722222	635		Current at maximum Phase B - Maximum Current of 296 A during fault
6	45616.7034722222	635		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 190 A during fault
7	45616.7034722222	635		Protection Disk Reset
8	45616.7034722222	635		Second Order Harmonic Inrush Restraint is not active
9	45616.7034722222	610		Phase C - Second Order Harmonic 119% of fundamental
10	45616.7034722222	610		Phase B - Second Order Harmonic 54% of fundamental
11	45616.7034722222	610		Phase A - Second Order Harmonic 65% of fundamental
12	45616.7034722222	610		Second Order Harmonic Inrush Restraint is active
13	45616.7034722222	592		All protection elements resetting
14	45616.7034722222	575		Protection Group A Active
15	45616.7034722222	575		Pickup Phase B
16	45616.7034722222	575		Pickup
17	45616.7034722222	465	PTCL	DNP3 Protocol Close Request
18	45616.7033449074	974	PTCL	Automatic Reclose Off
19	45616.7025231481	301		Lockout
20	45616.7025231481	300		Auto Reclose Timeout

Nota: La imagen representa una captura del archivo de datos separados por comas (CSV), generado por el usuario del WSOS en forma manual y mostrado mediante Excel de Office365. Captura tomada de archivos personales en *OneDrive Institucional ICE*.

Figura 5

Estructura de datos en formato TXT exportados desde el software WSOS para equipos NULEC



Date/Time	Source	Event Text
20/11/2024 16:53:04.579		Load Supply On
20/11/2024 16:53:00.635		Current at maximum Earth Maximum Current of 218 A during fault
20/11/2024 16:53:00.635		Current at maximum Phase C - Maximum Current of 30 A during fault
20/11/2024 16:53:00.635		Current at maximum Phase B - Maximum Current of 296 A during fault
20/11/2024 16:53:00.635		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 190 A during fault
20/11/2024 16:53:00.635		Protection Disk Reset
20/11/2024 16:53:00.635		Second Order Harmonic Inrush Restraint is not active
20/11/2024 16:53:00.610		Phase C - Second Order Harmonic 119% of fundamental
20/11/2024 16:53:00.610		Phase B - Second Order Harmonic 54% of fundamental
20/11/2024 16:53:00.610		Phase A - Second Order Harmonic 65% of fundamental
20/11/2024 16:53:00.610		Second Order Harmonic Inrush Restraint is active
20/11/2024 16:53:00.592		All protection elements resetting
20/11/2024 16:53:00.575		Protection Group A Active
20/11/2024 16:53:00.575		Pickup Phase B
20/11/2024 16:53:00.575		Pickup
20/11/2024 16:53:00.465	PTCL	DNP3 Protocol Close Request
20/11/2024 16:52:49.974	PTCL	Automatic Reclose Off
20/11/2024 16:51:38.301		Lockout
20/11/2024 16:51:38.300		Auto Reclose Timeout

Nota: La imagen representa una captura del archivo de datos en formato texto (TXT) generado por el usuario del WSOS en forma manual y mostrado mediante block de notas de Windows11. Captura tomada de archivos personales en *OneDrive Institucional ICE*.

Resumiendo, la estructura de los datos de eventos registrados en los equipos NULEC y exportados por su software de gestión WSOS corresponde un archivo plano con 3 columnas principales: la primera columna contiene la estampa de tiempo, la segunda donde se identifica la fuente que ejecuta evento y la última que describe el evento en un campo de tamaño variable no estructurado.

2.2.3.3. Características principales del software de gestión CMS.

Al igual que el WSOS, el software CMS (Control and Management Software) es una aplicación basada en Windows para PC y diseñada para la gestión, control y monitoreo de los reconectores automáticos de la marca NOJA, la cual permite la

gestión de los dispositivos, tanto en forma remota a través de enlaces de comunicación (módem, Ethernet TCP/IP, fibra óptica, redes móviles 2G/3G/4G), como, localmente, mediante conexiones directas (USB, serial o Ethernet). Asimismo, proporciona una interfaz gráfica de usuario que facilita el acceso a todas las funciones y el estado del equipo (NOJA POWER, 2011).

Con el software CMS, es posible realizar la configuración los parámetros de protección (curvas de tiempo, ajustes de umbrales, etc.) y los ajustes de comunicación de los reconectadores, así como la operación remota de apertura y cierre de estos y el monitoreo en línea del estado de su estado, las corrientes, los voltajes, las frecuencias, las potencias y otras variables eléctricas de interés.

CMS posibilita la visualización de los datos almacenados, como registros de eventos (detección de sobre corrientes, operaciones de apertura y cierres, alarmas), oscilografías y mediciones periódicas de demanda, corrientes, tensiones y frecuencia. La información almacenada puede ser visualizada y extraída en forma local o remota en diferentes formatos.

CMS facilita la implementación de esquemas de automatización de la red de distribución, incluyendo lógica programable, control de reconexión automática, transferencia automática de fuentes y otras funciones de control distribuido. Herramientas de simulación para probar la configuración de protección y la lógica de control sin necesidad de interactuar con un reconectador real son parte de las bondades ofrecidas por este software.

De manera similar al WSOS, el CMS incorpora contraseñas a diferentes niveles jerárquicos para proteger la configuración y el control de los dispositivos. Asimismo, la gestión de múltiples reconectadores desde una única plataforma en forma simultánea es posible.

2.2.3.4. Interrogación de datos y estructura de datos con software CMS

El software de gestión CMS tiene un solo método de descarga de datos, el cual debe ser generado por el usuario ingresando al software CMS (ver **Figura 6**). No hay posibilidad de automatizar dicho proceso con dicho software, dentro del CMS el usuario selecciona los registros que desea descargar y la herramienta le permite la exportación a formato Excel, csv, txt, rtf, html, mht y pdf en la carpeta de preferencia (ver **Figura 7**) (NOJA POWER, 2011).

Figura 6

Interfaz de parametrización del ADR en el software CMS para equipos NOJA

Fecha & Hora	Título del Evento	Inicio / Fin	Fuente del Evento	Fase Relevante	Estado Relevante	Parámetros Críticos	ID del Registro
23/12/24 10:52 AM							
19/11/24 06:09 AM							
15/11/24 03:47 PM							
15/11/24 03:40 PM							
15/11/24 12:46 PM							
11/11/24 08:58 AM							
10/10/24 03:17 PM							
10/10/24 03:13 PM							
10/10/24 11:53 AM							
09/10/24 10:45 AM							
09/10/24 08:52 AM							
22/12/24 02:53:59.505 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		+/+/??		8589939539
22/12/24 01:17:50.128 PM	Reinicio		AR OC/NPS/EF/SEF/yn				8589939538
22/12/24 01:17:22.181 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/??		8589939537
22/12/24 01:17:22.122 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/??		8589939536
22/12/24 01:17:20.123 PM	Reinicio		OC1-	C			8589939535
22/12/24 01:17:20.090 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/??		8589939534
22/12/24 01:17:20.086 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/??		8589939533
22/12/24 01:17:20.078 PM	Arranque	Fin	OC1-	C		Max(Ic), A=598	8589939532

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del CMS en donde se parametriza y ejecuta la descarga manual de los eventos y datos requeridos. Captura tomada de software CMS.

Figura 7

Estructura de datos en formato CSV exportados desde el software CMS para equipos NOJA

Arrastre un encabezado de columna aquí para agrupar por esa columna							
Fecha & Hora	Título del Evento	Inicio / Fin	Fuente del Evento	Fase Relevante	Estado Relevante	Parámetros Críticos	ID del Registro ▾
22/12/24 02:53:59.505 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		+/+/?/?		8589939539
22/12/24 01:17:50.128 PM	Reinicio		AR OC/NPS/EF/SEF/Yn				8589939538
22/12/24 01:17:22.181 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/?/?		8589939537
22/12/24 01:17:22.122 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/-/-		8589939536
22/12/24 01:17:20.123 PM	Reinicio		OC1-	C			8589939535
22/12/24 01:17:20.090 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/?/?		8589939534
22/12/24 01:17:20.086 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/-/-		8589939533
22/12/24 01:17:20.078 PM	Arranque	Fin	OC1-	C		Max(Ic), A=598	8589939532
22/12/24 01:17:20.032 PM	Arranque	Inicio	OC1-	C		Iop, A=150	8589939531
22/12/24 01:17:20.032 PM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		-/+/-/-		8589939530
22/12/24 08:33:33.350 AM	Cambio Dir. Control		DE OC/NPS/EF/SEF		?/+/?/?		8589939529

Nota: La imagen representa una captura del archivo de datos separados por comas (CSV), generado por el usuario del CMS en forma manual y mostrado mediante Excel de Office365. Captura tomada de archivos personales en *OneDrive Institucional ICE*.

En resumen, la estructura de los datos de los eventos registrados en los equipos NOJA y exportados por su software de gestión CMS es un archivo plano con 8 columnas principales: la primera columna contiene la estampa de tiempo, la segunda describe el tipo evento, la tercera hace referencia a la fuente que activa el evento, la cuarta indica la fase afectada, la quinta aporta una codificación del estado, la sexta muestra los valores de parámetros críticos y por último una columna con consecutivos de eventos. De igual manera que el software WSOS, el CMS tampoco genera una tabla de datos estructurada para el registro de eventos.

2.3. Almacenamiento de datos

2.3.1. *Perspectiva histórica y actual*

El almacenamiento de datos ha experimentado una enorme evolución, desde los primeros sistemas basados en tarjetas perforadas, hasta las modernas soluciones en la nube. La creciente necesidad de almacenar, gestionar y acceder a cantidades cada vez mayores de información generada por diversas fuentes, incluyendo los equipos de protección en las redes eléctricas, ha sido el impulsada de esta evolución cada vez más acelerada (Hilbert y López, 2011).

Las tarjetas perforadas utilizadas a finales del siglo XIX para controlar telares fueron adaptadas para almacenar datos en las primeras computadoras. En ese sentido, la información se representaba mediante la presencia o ausencia de agujeros en la tarjeta, lo que permitía almacenar cantidades muy limitadas de datos.

Para la década de 1950, la cinta magnética ofreció una mayor capacidad de almacenamiento que las tarjetas perforadas, sin embargo, el acceso a los datos era secuencial, lo que significaba que, para acceder a un dato específico, la cinta debía leerse desde el principio hasta el punto deseado. Para esa misma década, los tambores magnéticos, almacenaban datos en la superficie de un tambor giratorio recubierto de material magnético, estos ofrecían un acceso más rápido que la cinta magnética, pero su capacidad era limitada y eran costosos (Clark, 2021).

Estos primeros sistemas, si bien revolucionarios para su época, eran limitados en capacidad, velocidad de acceso y portabilidad, en el año 1956 se construyó el primer disco duro, IBM RAMAC con una capacidad de 5 MB, contaba con 50 discos de 24 pulgadas de diámetro y con costo elevadísimo de alrededor de \$10.000 por megabyte (ver

Figura 8) (*Discos duros: evolución e historia, s. f.*)

Figura 8

Primer disco duro, IBM 305 RAMAC



Nota: La imagen muestra el primer disco duro fabricado en el año 1956. Imagen tomada de (*Discos duros: evolución e historia*, s. f.)

Los discos duros utilizan platos giratorios recubiertos de material magnético para almacenar datos. Ofrecen acceso aleatorio a los datos, lo cual significa que se puede acceder a cualquier dato directamente sin tener que leer los datos anteriores. Su capacidad y velocidad de acceso aumentaron exponencialmente con el tiempo, convirtiéndose en el principal medio de almacenamiento para computadoras personales y servidores.

Los discos ópticos, como el CD y el DVD, se desarrollaron en las décadas de 1980 y 1990, y utilizaron láseres para leer y escribir datos en discos ópticos, ofreciendo una alternativa portátil y de alta capacidad para la distribución de software y el almacenamiento de datos. En esta misma década, surgió la memoria flash: un tipo de memoria no volátil que se puede borrar y reprogramar eléctricamente. Esta se convirtió en la base de las unidades de estado sólido (SSD), las tarjetas de memoria y las unidades USB, ofreciendo alta velocidad, bajo consumo de energía y portabilidad (Clark, 2021).

Estos avances permitieron almacenar y acceder a grandes cantidades de datos de manera más rápida, eficiente y conveniente, sin embargo, con la conectividad en red y la expansión de Internet se dieron nuevas formas de almacenar y acceder a los datos. Los sistemas de almacenamiento conectado a la red (NAS) y las redes de Área de almacenamiento (SAN) permitieron a múltiples usuarios y servidores compartir el acceso a los datos a través de una red. NAS se refiere es una arquitectura de almacenamiento que permite a los dispositivos conectados a una red acceder a archivos a través de protocolos de red estándar, mientras que SAN lo hace a través de una red dedicada con mejora en el rendimiento (Clark, 2021).

Popularizado en la década de 2000, el almacenamiento en la nube permitió almacenar datos en servidores remotos mantenidos por proveedores de servicios en la nube, ofreciendo escalabilidad y accesibilidad desde cualquier lugar con conexión a Internet, y reducción de costos en infraestructura y mantenimiento.

En el contexto de los sistemas eléctricos, el almacenamiento de datos es crucial para el monitoreo, control, visualización, análisis de fallas y gestión del mantenimiento. Los equipos instalados en la red de distribución proporcionan cada vez mayores y mejores datos de variables operativas, que deben ser almacenadas como insumo para una analítica de valor a la gestión.

2.3.2. Respallos de información

Respaldar la información es un proceso considerado como crítico para cualquier organización. En ese sentido, el sector de la energía eléctrica como el ICE se adapta a dicha situación. Por ende, el propósito es crear copias de datos relevantes que puedan recuperarse en caso de pérdida de datos debido a eventos no previsto, fallos de hardware y errores humanos entre otros. La pérdida de datos puede tener consecuencias graves, como interrupción de las operaciones, pérdida de ingresos y daño a la reputación institucional. Un respaldo adecuado minimiza estos riesgos y permite una recuperación rápida y eficiente (*Recovery Point Objective*, s. f.).

Un tipo de respaldo es el completo cuando se copian todos los datos seleccionados en cada respaldo. Por tanto, es muy efectivo, pero consume más tiempo y recursos. El respaldo incremental es otro tipo en solo copia los datos que han cambiado desde el último respaldo, ya sea completo o incremental, lo que lo hace más rápido y eficiente en cuanto a consumo de espacio. La tercera forma de respaldo es el diferencial, en donde se copia todos los datos que han cambiado desde el último respaldo completo, ofreciendo un equilibrio entre velocidad y facilidad de restauración.

Los datos se pueden respaldar en diversos medios como la cinta magnética caracterizada por su alta capacidad, pero acceso secuencial, como segundo medio, los discos duros, los cuales son una opción económica y versátil para respaldos locales. Los almacenamientos en red (NAS/SAN) permiten el acceso compartido a los respaldos a través de la red y por último, el almacenamiento en la nube, que ofrece escalabilidad, accesibilidad y redundancia, con el requerimiento de una conexión a Internet. La frecuencia con la que se realizan los respaldos depende de la criticidad de los datos y la tolerancia a la pérdida de datos (*Recovery Point Objective*, s. f.)

Una buena práctica recomendada es la estrategia 3-2-1: mantener 3 copias de los datos, en 2 medios diferentes, con 1 copia fuera del sitio. La automatización del proceso de respaldo reduce el riesgo de errores humanos y asegura que los respaldos se realicen

de manera consistente según programación, lo que proporciona una alta probabilidad de recuperación ante diferentes fallos. Las políticas de retención de datos definen cuánto tiempo se conservarán los datos respaldados dependiendo de la necesidad de recuperación en el tiempo. Validar periódicamente la capacidad de restaurar los datos respaldados, verificando la integridad y efectividad del proceso de recuperación es necesario para asegurar el proceso (Yev, 2024).

En el contexto de los sistemas eléctricos, el respaldo de los datos es especialmente importante para proteger la información crítica relacionada con la operación de la red, los registros de eventos de fallas, la configuración de los equipos de protección y los datos de los clientes. Asimismo, implementar estrategias de respaldo de información es crucial para garantizar la disponibilidad de los datos ante posibles fallas o pérdidas.

2.3.3. Seguridad de datos

La seguridad de la información se centra en proteger la información y los sistemas de información de accesos no autorizados, uso, divulgación, interrupción, modificación o destrucción. Esta se basa en tres pilares fundamentales, a menudo, denominados la tríada CIA: confidencialidad, integridad y disponibilidad (Bishop y Bishop, 2003).

La confidencialidad consiste en asegurar que la información solo sea accesible para las personas autorizadas, lo cual se logra mediante técnicas como el cifrado, el control de acceso y la autenticación. La integridad se refiere a mantener la exactitud y completitud de la información, evitando su modificación o destrucción no autorizada mediante técnicas como firmas digitales, códigos hash y controles de versiones. Finalmente, con la disponibilidad, se garantiza que los usuarios autorizados tengan acceso a la información y los sistemas cuando lo necesiten por medio de técnicas como la redundancia, la tolerancia a fallos y la planificación de la recuperación ante desastres (Weikert Bicalho, 2021).

Además de la tríada CIA, otros principios importantes de la seguridad de la información incluyen la autenticación, la cual consiste en verificar la identidad de los usuarios o dispositivos que intentan acceder a la información o los sistemas; la autorización, la cual permite determinar los permisos y privilegios de un usuario o dispositivo una vez que ha sido autenticado. Por último, el no repudio, que implica evidenciar que una transacción o comunicación ha ocurrido, de modo que ninguna de las partes pueda negarla.

La información y los sistemas de información están expuestos a una variedad de amenazas internas originadas dentro de la organización, como errores humanos, fraude o sabotaje por parte de empleados o contratistas, además de amenazas externas provenientes de fuera de la organización, como ataques de hackers, malware (virus, gusanos, troyanos), phishing o ataques de denegación de servicio (DoS) (Weikert Bicalho, 2021).

Para mitigar estas amenazas, se implementan controles físicos, como medidas de seguridad para proteger las instalaciones y el hardware, cámaras de vigilancia, control de acceso y cerraduras. Adicionalmente, se implementan controles técnicos, como medidas de seguridad en el software y hardware, firewalls, sistemas de detección de intrusiones (IDS), software antivirus y cifrado. Por último, se encuentran controles administrativos, los cuales incluyen políticas, procedimientos y directrices que definen cómo se gestionan aspectos como seguridad de la información, contraseñas, capacitación de los usuarios y planificación de la respuesta a incidentes.

Las redes eléctricas son una infraestructura crítica cuya interrupción puede tener graves consecuencias para la economía, la seguridad pública y el medio ambiente (Weikert Bicalho, 2021). Los sistemas SCADA, los cuales controlan y monitorean la operación de la red eléctrica, son vulnerables a ataques cibernéticos que podrían manipular los equipos, causar apagones o dañar la infraestructura. Adicionalmente, los sistemas eléctricos manejan datos sensibles de los clientes, como información personal y patrones de consumo, que deben protegerse de la divulgación no autorizada. Por lo

tanto, las empresas de energía eléctrica deben implementar medidas de seguridad robustas para proteger sus sistemas y datos conforme a estándares internacionales establecidos (*ISO/IEC 27002:2022(en), Seguridad de la información, ciberseguridad y protección de la privacidad — Controles de seguridad de la información*, s. f.).

2.3.4. SharePoint

SharePoint es una plataforma de colaboración y gestión de contenidos basada en web y forma parte de la suite de Microsoft Office, en esencia es un gestor y almacenamiento de documentos altamente configurable, ofreciendo una variedad de funciones que permiten a los equipos y organizaciones compartir información, colaborar en proyectos y crear aplicaciones personalizadas (Maggierui, s. f.)

SharePoint se puede utilizar para crear la intranet de una organización, un centro central para la comunicación interna, noticias, anuncios y acceso a recursos. Proporciona funciones robustas para almacenar, organizar, versionar y gestionar documentos, pues garantiza que todos tengan acceso a la información más reciente y facilita la colaboración en equipo a través de funciones como sitios de equipo, calendarios compartidos, listas de tareas y foros de discusión.

Mediante esta plataforma, los usuarios pueden crear y gestionar sitios y páginas web, tanto para público interno, como externo, incorporando herramientas para visualización, generación de informes y análisis de datos, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones informadas. Adicionalmente, proporciona un marco para crear aplicaciones y flujos de trabajo personalizados para automatizar los procesos.

El contenido de SharePoint se organiza en sitios de diferentes tipos: de equipo, de comunicación y centrales, cada uno diseñado para fines específicos. Las listas se utilizan para almacenar datos en formato tabular, mientras que las bibliotecas se utilizan para almacenar documentos y otros archivos. Los componentes web disponibles son reutilizables y se pueden agregar a las páginas web para mostrar información o

proporcionar funcionalidad. Por su lado, los flujos de trabajo automatizan los procesos al definir una serie de acciones que deben ejecutarse cuando sucede un determinado evento. La funcionalidad de búsqueda de SharePoint ayuda a los usuarios a encontrar información rápida y fácilmente (Maggierui, s. f.)

SharePoint se puede implementar de diferentes maneras: la primera es SharePoint Online, un servicio basado en la nube como parte de Microsoft Office 365. La segunda es SharePoint Server, un software local que se instala y administra en servidores propios y la tercera un híbrido. Si bien SharePoint ofrece estos y otros muchos beneficios y opciones, también deben ser conscientes de los posibles desafíos como la complejidad al configurar, especialmente para casos de uso avanzados y la gobernanza para una gestión eficaz.

La versión en línea de SharePoint emplea redundancia de datos en múltiples niveles, replicándolos en múltiples servidores dentro de un centro de datos y, a menudo, entre varios centros de datos para garantizar la disponibilidad incluso en caso de fallos o interrupciones del hardware. En forma adicional, ofrece un versionamiento automático de los documentos y elementos de lista. Esto permite a los usuarios el restaurar versiones anteriores si es necesario, protegiendo así contra eliminaciones accidentales o cambios no deseados.

Los elementos eliminados se mueven a la papelera de reciclaje, donde se conservan durante un tiempo determinado. Esto proporciona una red de seguridad para recuperar contenido eliminado accidentalmente. Además, las organizaciones pueden optar por implementar sus propias estrategias de copia de seguridad y recuperación para mayor protección. Esto puede implicar el uso de soluciones de copia de seguridad de terceros o la exportación periódica de datos.

Los centros de datos de Microsoft cuentan con sólidas medidas de seguridad física, las cuales incluyen control de acceso, vigilancia y controles ambientales para proteger el hardware que almacena sus datos, los cuales que se cifran, tanto en tránsito (utilizando

protocolos como TLS), como en reposo (utilizando tecnologías de cifrado) para protegerlos del acceso no autorizado. SharePoint Online ofrece funciones de control de acceso granular. Los administradores pueden administrar permisos a nivel de sitio, lista, biblioteca y elemento, garantizando así que solo los usuarios autorizados puedan acceder a la información confidencial. Microsoft también utiliza varios sistemas de gestión para detectar y prevenir malware, ataques de phishing, entre otras amenazas de seguridad.

SharePoint es una plataforma de colaboración y gestión documental ampliamente utilizada en entornos empresariales como el ICE, quien cuenta con la licencia de Microsoft Office 365, esto puede ser una ventaja para ser utilizado en el almacenamiento de datos relacionados con los eventos de falla (Maggierui, s. f.)

2.4. Análisis de datos multiformato

Este apartado se relaciona con el segundo objetivo específico, el cual busca analizar los datos extraídos en un formato único. El análisis de datos multiformato se refiere al proceso de extraer información valiosa de datos que se presentan en diversas estructuras y formatos, cuyo análisis se ha vuelto cada vez más importante debido a la proliferación de fuentes de datos y la necesidad de integrar información de diferentes sistemas (Putrama y Martinek, 2024).

Los datos pertenecientes a una organización pueden estar en archivos planos (CSV, TXT), hojas de cálculo (Excel), bases de datos (SQL, NoSQL), archivos XML, JSON, archivos de registro, datos de sensores, imágenes, audio, video, etc., cada uno con un formato, estructura y sintaxis propia, lo cual dificulta la unificación del análisis. Incluso, dentro de un mismo formato, los datos pueden tener diferentes estructuras, por ejemplo, archivos CSV pueden tener diferentes delimitadores. Los mismos datos pueden tener diferentes significados o representarse de manera diferente en diferentes sistemas, por ejemplo, la "temperatura" puede medirse en Celsius o Fahrenheit. De manera adicional, los datos de diferentes fuentes pueden tener diferentes niveles de calidad, con errores, valores faltantes o inconsistencias (*Integración de Datos*, s. f.)

A menudo, el análisis de datos multiformato implica el procesamiento de grandes volúmenes de datos generados a alta velocidad, lo cual requiere herramientas y técnicas eficientes. Para superar los desafíos en mención, se pueden emplear diversas estrategias como la denominada Extracción, Transformación y Carga (ETL), que implica extraer datos de diferentes fuentes, transformarlos a un formato y estructura comunes, y cargarlos en un repositorio central, como un almacén de datos. Otras técnicas como la federación, la virtualización de datos y el middleware de integración permiten acceder y combinar datos de diferentes fuentes sin necesariamente moverlos físicamente (Putrama y Martinek, 2024).

Establecer estándares para la representación de datos, como formatos de fecha y hora, códigos de unidades y convenciones de nomenclatura, ayuda a garantizar la coherencia y comparabilidad. Identificar y corregir errores, inconsistencias y valores faltantes en los datos mejora la calidad y la confiabilidad del análisis.

En ese sentido, se pueden utilizar diversas herramientas para el análisis de datos multiformato, incluyendo:

- Lenguajes de programación: Python y R ofrecen bibliotecas y frameworks para el procesamiento y análisis de datos.
- Bases de datos: las bases de datos relacionales y NoSQL pueden almacenar y consultar datos multiformato.
- Herramientas de Business Intelligence (BI): las herramientas de BI proporcionan funciones para la visualización, la generación de informes y el análisis interactivo.
- Plataformas de Big Data: las plataformas de Big Data, como Hadoop y Spark, están diseñadas para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos distribuidos.

Los datos de eventos de fallas en redes de distribución eléctrica pueden provenir de diferentes equipos de protección (reconectadores, relés) y sistemas (SCADA), cada

uno con sus propios formatos y estructuras. El análisis integrado de estos datos es crucial para comprender la secuencia de eventos, identificar las causas de las fallas y mejorar la coordinación de las protecciones. La visualización y el análisis de datos multiformato es un campo desafiante, pero crucial para aprovechar el valor de la información en diversas aplicaciones, especialmente en sectores complejos como el de la energía eléctrica.

2.4.1. Estructura de bases de datos

Las bases de datos son sistemas organizados para almacenar y gestionar grandes cantidades de datos. Su estructura es crucial para la eficiencia en el acceso, la manipulación y la integridad de la información. Este resumen explora conceptos fundamentales, los diferentes tipos de bases de datos y su relevancia en el contexto de los sistemas eléctricos.

Para conceptualizar, los datos son hechos o valores sin procesar que pueden registrarse y tener un significado. En una base de datos, los datos se organizan en unidades más pequeñas, como campos y registros, entendiendo como campo a una unidad de datos que representa un atributo específico de una entidad. Por ejemplo, en una base de datos de reconectadores, los campos podrían incluir "ID del reconectador", "Marca", "Modelo", "Ubicación". Los registros son colecciones de campos relacionados que representan una instancia única de una entidad, por ejemplo, un registro en la base de datos de reconectadores representaría la información de un reconectador específico.

La colección de registros del mismo tipo conforma lo denominado tabla, la cual representa la principal forma de organizar los datos en las bases de datos relacionales. El esquema de una base de datos define la estructura de la base de datos, incluyendo tablas, campos de cada tabla, tipos de datos de los campos y relaciones entre las tablas (Pérez Torres y Soler Silva, 2007).

Las bases de datos relacionales son el tipo más común de bases de datos y organizan los datos en tablas con filas (registros) y columnas (campos), utilizando un

lenguaje de consulta estructurado (SQL) para acceder y manipular los datos. Algunos ejemplos son MySQL, PostgreSQL, Oracle y Microsoft SQL Server.

Como alternativa a las bases de datos relacionales, las bases de datos no relacionales surgieron para manejar grandes volúmenes de datos no estructurados o semiestructurados. Entre ellas, se encuentran las de tipo clave-valor, las cuales almacenan datos como pares clave-valor (ejemplo: Redis, Amazon DynamoDB). Otro tipo de base de datos es la de documentos, que almacenan datos en documentos (ejemplo: MongoDB, CouchDB). Las bases de datos tipo, datos de columna, almacenan sus datos en columnas en lugar de filas (ejemplo: Apache Cassandra, HBase), mientras que el tipo datos de grafos almacenan datos como nodos y relaciones (ejemplo: Neo4j) (Pérez Torres y Soler Silva, 2007).

La estructura de las bases de datos es fundamental en varios aspectos de los sistemas eléctricos, tanto el sistema SCADA, la gestión de activos, registros de la operación de la red, sistema de información geográfica (GIS), entre otros, deben incorporarse a una base de datos cuya estructura permita su acceso rápido, eficiente, confiable y seguro para brindar información relacional que agregue valor a la gestión de la red. Para analizar datos provenientes de múltiples fuentes y formatos, es útil considerar la estructuración de la información en bases de datos.

2.4.2. Archivos planos

Los archivos planos son una forma sencilla y ampliamente utilizada para almacenar datos. Se caracterizan por su estructura simple, facilidad de crear, leer y editar por humanos y programas. Un archivo plano es un archivo de computadora que contiene datos con una estructura mínima, sin incluir metadatos ni información de formato compleja, un ejemplo serían un documento de procesamiento de texto o una hoja de cálculo (Pérez Torres y Soler Silva, 2007).

Los archivos planos organizan los datos en filas y columnas, lo cual es similar a una tabla. Cada fila representa a registro y cada columna representa a campo. Los datos dentro de cada campo se separan por un carácter delimitador, como una coma, una tabulación o un espacio. Los archivos planos son basados en texto, lo cual significa que contienen caracteres que se pueden leer directamente, por tanto, son portátiles y fáciles de intercambiar entre diferentes sistemas y aplicaciones. Debido a su estructura simple, los archivos planos tienen limitaciones en cuanto a la complejidad de las relaciones de datos que pueden representar y la eficiencia en el acceso y la manipulación de grandes conjuntos de datos.

Cada fila en un archivo plano representa un registro de datos, como la información de un equipo de protección o un evento de falla. Cada columna representa un campo dentro de un registro, como el ID del equipo, la fecha del evento o la magnitud de la corriente. Los delimitadores son caracteres especiales que separan los valores de los campos dentro de una fila. Los delimitadores más comunes incluyen la coma (,), tabulación (\t), espacio () y Cometa (|).

Un formato popular para almacenar datos tabulares es el CSV (Comma Separated Values), en donde los valores se separan por comas, mientras las filas se separan por saltos de línea. Otro formato muy utilizado es el TXT (Text), el cual consiste en un formato genérico para almacenar texto y puede usarse para datos estructurados o no estructurados, pero requiere un formato consistente para la visualización y análisis. El tipo de archivo plano DAT (Data) es una extensión genérica que puede usarse para cualquier tipo de datos y a menudo usado para archivos con formato personalizado (Pérez Torres y Soler Silva, 2007).

A pesar de sus limitaciones, los archivos planos tienen diversas aplicaciones como intercambio de datos, almacenamiento de datos simples, procesamiento por lotes, archivos de registro y archivos de configuración entre otros. En los sistemas eléctricos, los archivos planos pueden utilizarse para exportar datos de reconectadores, intercambiar datos de SCADA y almacenar datos de configuración de dispositivos.

2.4.3. Formato Excel

Microsoft Excel, como parte de la suite Microsoft Office, es una hoja de cálculo electrónica ampliamente utilizada para organizar, calcular y analizar datos. Sus archivos, con extensión ".xls" (versiones antiguas) o ".xlsx" (versiones modernas) son un libro de trabajo que puede contener una o varias hojas de cálculo. Esta estructura permite organizar datos relacionados en diferentes secciones dentro del mismo archivo. Cada hoja de cálculo es una cuadrícula compuesta por filas y columnas, las filas se identifican numéricamente (1, 2, 3...) y las columnas alfabéticamente (A, B, C... o AA, AB, AC...) (*Ayuda y formación de Excel*, s. f.).

La intersección entre una fila y una columna se denomina celda. Cada celda puede contener datos (texto, números, fechas), fórmulas o funciones. La estructura de filas y columnas facilita la organización de datos en un formato tabular, lo cual es similar a una tabla de base de datos, por tanto, permite almacenar datos estructurados de manera clara. Cada celda admite varios tipos de datos, incluyendo texto, número, fecha/hora y lógico.

Excel tiene limitaciones en la cantidad de datos que puede manejar eficientemente, pues las hojas de cálculo grandes pueden volverse lentas y consumir mucha memoria. Excel tampoco impone la misma integridad de datos que una base de datos relacional. Por lo tanto, es fácil introducir inconsistencias y errores en los datos, así mismo, la seguridad de los datos en archivos Excel puede ser limitada, aunque permita la protección con contraseñas. Realizar consultas complejas y relaciones entre diferentes conjuntos de datos puede ser difícil y lento en Excel y aunque se pueden usar macros y VBA para automatizar tareas, no es tan robusto como las herramientas de automatización de bases de datos.

2.4.4. Minería de datos

La minería de datos, también conocida como "descubrimiento de conocimiento en bases de datos" (KDD), busca identificar relaciones, patrones, tendencias y anomalías en los datos desconocidos, válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles. El proceso de KDD involucra, en primera instancia, la identificación de los datos relevantes para el análisis y, luego, pasa por un proceso de limpieza, transformación e integración de los datos para mejorar su calidad y en el formato requerido.

El proceso de KDD continua con la aplicación de algoritmos para extraer patrones o modelos, los cuales son evaluados para comprender si significado y utilidad. Con la información obtenida, se presenta el conocimiento extraído de manera comprensible para los usuarios. La minería de datos puede descubrir diferentes tipos de conocimiento, incluyendo relaciones entre elementos de datos, categorizaciones predefinidas, agrupamiento de objetos similares, regresión para predecir valores numéricos, identificación de datos inusuales o atípicos y relaciones entre eventos a lo largo del tiempo.

Por consiguiente, se utilizan diversas técnicas de minería de datos. Dependiendo del tipo de conocimiento que se busca extraer y la naturaleza de los datos, algoritmos como Apriori y Eclat, se utilizan reglas de asociación para encontrar relaciones frecuentes entre conjuntos de elementos. Por su parte, los algoritmos como ID3 y C4.5 construyen una estructura de árbol de decisión para clasificar objetos basándose en sus atributos. Otra técnica conocida como máquinas de vectores de soporte (SVM) son un algoritmo poderoso para la clasificación y la regresión, especialmente útil para datos de alta dimensión, mientras que las redes neuronales son técnicas inspiradas en el cerebro humano, capaces de aprender patrones complejos en los datos.

La técnica del Clustering son algoritmos como k-means y DBSCAN que agrupan objetos similares en función de su distancia o densidad, mientras que el análisis de regresión utiliza técnicas estadísticas para modelar la relación entre variables y

predicción de valores numéricos. Por último, se tiene la técnica de series temporales, la cual que se basa en el análisis de datos secuenciales ordenados en el tiempo, como descomposición, suavizado y predicción.

Es necesario enfatizar que existen aplicaciones importantes de la minería de datos en varios temas de los sistemas eléctricos, tales como detección y diagnóstico de fallas, monitoreo del estado de los activos, gestión de la demanda de energía, operación de redes inteligentes y detección de fraude, entre otros. Sin embargo, también existen desafíos importantes como calidad y volumen de datos, elección del algoritmo adecuado, correcta interpretación de resultados y privacidad y seguridad de los datos.

La minería de datos es una herramienta poderosa para descubrir conocimiento valioso en los grandes volúmenes de datos generados por los sistemas eléctricos. Su aplicación cuidadosa puede conducir a mejoras significativas en aspectos como confiabilidad, eficiencia y seguridad de la red eléctrica.

2.4.4.1. Software para minería de datos

El software para minería de datos proporciona las herramientas y los algoritmos necesarios para extraer patrones, relaciones y conocimiento útil a partir de grandes volúmenes de datos. Estas herramientas varían en su complejidad, funcionalidades y áreas de especialización, pero comparten el objetivo común de automatizar y facilitar el proceso de descubrimiento de conocimiento y se puede clasificar en varias categorías (Padua, 2014).

La primera categoría es minería de datos generalizadas, en donde se puede proporcionar una amplia gama de algoritmos y técnicas de minería de datos para diversas tareas, como clasificación, *clustering*, regresión y asociación, ejemplos Weka, RapidMiner y KNIME (Coto Jiménez, 2014).

La segunda categoría es el software estadístico, que no está diseñado exclusivamente para la minería de datos, pero proporciona funciones para el análisis

exploratorio de datos, pruebas de hipótesis y modelado estadístico, los cuales son útiles en el proceso de minería de datos. Algunos ejemplos son: R, SAS y SPSS.

Los lenguajes de programación con librerías de minería de datos como Python y R conforman la tercera categoría y ofrecen librerías y *frameworks* que implementan algoritmos de minería de datos, lo cual les permite a los desarrolladores el crear soluciones personalizadas.

Como cuarta categoría, las herramientas de inteligencia de negocios (Business Intelligence o BI) se centran en la visualización, la generación de informes y el análisis interactivo de datos, pero también pueden incluir funciones básicas de minería de datos, como detección de tendencias y previsión. Algunos ejemplos son: Tableau y Power BI.

Los softwares de bases de datos conforman la quinta categoría, pues algunos sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) incluyen funciones de minería de datos, como minería de reglas de asociación y clasificación, por ejemplo, SQL Server Analysis Services y Oracle Data Mining.

Las plataformas de Big Data están diseñadas para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos distribuidos. Esto las hace adecuadas para la minería de datos a escala, conformando la sexta categoría. Como ejemplo, se incluye a Hadoop y Spark

Independientemente del tipo, el software de minería de datos por lo general ofrece el preprocesamiento de datos (funciones para limpiar, transformar e integrar datos de diferentes fuentes, manejo de valores faltantes, ruido y datos inconsistentes, además las técnicas de normalización y estandarización de datos), selección de algoritmos (clasificación, *clustering*, regresión, etc. y opciones para configurar y ajustar los parámetros de los algoritmos), modelado y evaluación, visualización de datos, automatización, flujos de trabajo e integración (conexión con diferentes fuentes de datos como bases de datos, archivos, etc.) (Padua, 2014).

Una limitante para la implementación de esta investigación es el software con licenciamiento en el ICE. Por tanto, aun existiendo diversos softwares aplicables, el Tableau y Power BI son las opciones disponibles en la Institución.

2.4.4.2. Power BI

Power BI es una herramienta de inteligencia de negocios de Microsoft que permite la conexión a diversas fuentes de datos, crear modelos de datos y generar visualizaciones interactivas (Introducción a Power BI Desktop, 2023). En esencia, es una plataforma de análisis empresarial desarrollada por Microsoft que, a los usuarios, les permite conectar, visualizar y analizar datos con mayor velocidad, eficiencia y facilidad de comprensión.

La herramienta Power BI está compuesta por cuatro elementos fundamentales: el primero de ellos es Power BI Desktop, una aplicación de escritorio gratuita que se utiliza para conectar a diversas fuentes de datos, transformarlos y crear informes y paneles interactivos. El segundo elemento es Power BI Service, un servicio SaaS (Software as a Service) basado en la nube que permite publicar, compartir y colaborar en informes y paneles, además de ofrecer funciones adicionales como actualización programada de datos y puerta de enlace de datos.

Los restantes dos elementos abarcan la movilidad y la integración. El denominado Power BI Mobile se compone de aplicaciones móviles para iOS, Android y Windows, lo cual permite ver e interactuar con informes y paneles en dispositivos móviles. Por último, Power BI Embedded está conformado por un conjunto de API y SDK, que facilitan a los desarrolladores el integrar capacidades de Power BI en sus propias aplicaciones.

La conexión a datos en Power BI es flexible y permite una amplia variedad de fuentes de datos, incluyendo bases de datos, archivos Excel, servicios en la nube y fuentes de datos no estructurados. La transformación de estos datos es posible gracias a las herramientas para limpiar, dar forma y transformar los datos en su preparación para el análisis. Dicha situación puede incluir tareas como filtrar, ordenar, agregar y calcular datos.

Posterior a la preparación de los datos, a los usuarios. Power BI les permite crear relaciones entre diferentes tablas de datos para construir un modelo de datos que represente la estructura y las relaciones de la información, de tal manera que puedan ser presentados en una amplia gama de visualizaciones interactivas ofrecidas, como gráficos, tablas, mapas y medidores con el propósito de exponer los datos en forma clara y atractiva. Publicar y compartir los informes y paneles creados a partir de las visualizaciones es posible realizarlo mediante el servicio Power BI para compartirlos con otros usuarios dentro o fuera de la organización según lo permitan las políticas de la organización.

Power BI Desktop proporciona una interfaz gráfica de usuario fácil de usar al permitir la creación de informes y paneles sin necesidad de conocimientos de programación. Además, la creación de una amplia variedad de visualizaciones personalizables para representar los datos en forma efectiva les permite a los usuarios finales el interactuar con las visualizaciones para explorar los datos, filtrar la información y obtener detalles adicionales.

El servicio de Power BI permite programar la actualización automática de los datos para garantizar que los informes y paneles siempre muestren la información más reciente. Se integra estrechamente con otras herramientas de Microsoft, como Excel, SharePoint y Teams. Adicionalmente, Power BI incorpora funciones de IA, como procesamiento del lenguaje natural (PLN) y aprendizaje automático para facilitar el análisis de datos y la obtención de información.

Por sus cualidades, Power BI puede integrar diferentes fuentes de datos en donde se registren el monitoreo de la red, datos de fallas, gestión del mantenimiento, demanda de energía, entre otros, para ofrecer información integrada y de valor para la gestión de la red de distribución eléctrica. A partir de ello, contribuye a las organizaciones del sector eléctrico a tomar decisiones más informadas, mejorar la eficiencia operativa y optimizar la gestión de la red.

2.4.4.3. Tableau

Power BI y Tableau son plataformas líderes de visualización y análisis de datos que permiten a los usuarios explorar datos y obtener información valiosa. Ambos sirven para propósitos similares, con diferencias clave en sus fortalezas, debilidades y públicos objetivo (Tutorial, s. f.).

Power BI se centra en proporcionar una solución de inteligencia de negocio integral, su objetivo es democratizar el acceso a la inteligencia empresarial dentro de las organizaciones, haciendo que el análisis de datos sea accesible para los usuarios de todos los niveles técnicos. Por su parte, Tableau se enfoca principalmente en la exploración y visualización de datos, mediante su interfaz intuitiva y su capacidad para crear visualizaciones interactivas y atractivas («(PDF) Comparative Analysis of Data Visualization Tools», s. f.).

Ambas herramientas tienen la capacidad de conectarse a múltiples fuentes de datos y visualizar en forma similar. Sin embargo, el modelado resulta más simple en Tableau que en Power BI. Compartir datos es posible en ambas herramientas con su opción de alojamiento en la nube, no obstante, Power BI ofrece mayores opciones de análisis integradas.

Power BI tiende a ser popular entre las organizaciones que necesitan una solución de BI integral y ya invierten fuertemente en el ecosistema de Microsoft, lo cual puede implicar costos más competitivos. Por su parte, a menudo, Tableau atrae a los analistas de datos y usuarios que priorizan la exploración visual y la creación de visualizaciones interactivas, aunque conlleve a costos relativamente mayores.

2.4.4.4. Lenguaje R

R es un lenguaje de programación y un entorno de software libre diseñado para la computación estadística y los gráficos. Su enfoque principal es el análisis estadístico avanzado, el modelado y la creación de visualizaciones personalizadas para lo cual

requiere habilidades de programación. Es excelente para la manipulación y transformación de datos, permitiendo una gran flexibilidad y control sobre el proceso superiores a las prestaciones de Power BI (Hernández y Usuga, 2024).

Mediante una amplia gama de funciones y paquetes para estadísticas descriptivas, inferenciales, modelado estadístico y aprendizaje automático, R supera a Power BI en funciones estadísticas, el cual se limita a funciones relativamente básicas (*R vs Power BI*, s. f.). En cuanto a visualizaciones, ambas herramientas ofrecen una variedad amplia, diferenciándose en que Power BI las tiene integradas y R usa el paquete ggplot2. Otra diferencia entre ambos softwares es el modelado de datos, en donde R lo realiza mediante código, lo que ofrece una gran flexibilidad, pero requiere experiencia en programación y estadística. Por su parte, Power BI utiliza DAX (Data Analysis Expressions), un lenguaje de fórmulas para el modelado de datos relativamente fácil de aprender.

La automatización en R se realiza mediante *scripts* y programación, lo cual permite realizar tareas repetitivas y crear flujos de trabajo personalizados, mientras, en Power BI, se logra principalmente a través de la actualización programada de datos y la creación de paneles interactivos.

La publicación y el intercambio de resultados en R pueden ser más desafiantes para usuarios no técnicos al necesitarse otros paquetes como Shiny o R Markdown, pero esto requiere habilidades en programación. Por su parte, Power BI está diseñado para facilitar la publicación y el intercambio de informes y paneles con los usuarios finales, sin necesariamente poseer habilidades en programación, estos informes se pueden publicar en el servicio Power BI (en la nube) y compartirse con otros usuarios dentro o fuera de la organización, adicionalmente, cuenta con aplicaciones móviles para ver los informes en dispositivos móviles (*R vs Power BI*, s. f.).

La elección entre R y Power BI depende de las necesidades específicas del proyecto, las habilidades del equipo y el público objetivo de los resultados del análisis.

2.4.4.5. Herramientas de software disponibles en el ICE para el análisis de datos

Es prioritario considerar las herramientas de software licenciadas por el ICE y disponibles para su uso, ya que esto influirá en la viabilidad de la herramienta propuesta. Las políticas de seguridad del ICE no permiten instalar software no licenciado. En la actualidad, el ICE cuenta con la licencia de Office 365 disponible a la mayoría de los empleados, por tanto, para la analítica de datos, solo Tableau o Power Bi serían los softwares disponibles para desarrollar la propuesta planteada en esta tesis.

2.5. Visualización para el análisis de la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento

Este apartado aborda el tercer objetivo específico relacionado con el establecimiento de visualizaciones útiles, tanto para la coordinación de protecciones, considerado aspecto fundamental del diseño y la operación de los sistemas de potencia, especialmente en las redes de distribución eléctrica, como para la gestión del mantenimiento basado en datos. En ese sentido, se incluyen los conceptos relacionados con los fundamentos de redes de distribución eléctrica, modelado de redes, coordinación de protecciones, eventos de falla y gestión del mantenimiento de las redes.

2.5.1. Redes de distribución eléctrica

Las redes de distribución eléctrica son la parte final del sistema de suministro de energía eléctrica. Se encargan de llevar la electricidad, desde las subestaciones de transmisión, hasta los consumidores finales. Por tanto, su diseño, operación y mantenimiento son cruciales para garantizar un suministro confiable y de calidad. Para cumplir con esta función, las redes de distribución deben alcanzar varios objetivos como el de mantener la tensión y la frecuencia dentro de límites aceptables para evitar daños a los equipos de los consumidores, minimizar las interrupciones del suministro y restaurarlo rápidamente cuando ocurren fallas, proteger a las personas y los equipos de

los peligros de la electricidad, minimizar las pérdidas de energía y los costos operativos, y adaptarse a los cambios en la demanda y a la integración de nuevas tecnologías.

Según su configuración, las redes pueden clasificarse como radiales, es decir, aquellas donde la energía fluye en una sola dirección desde la subestación a los consumidores, o bien, como anilladas, aquellas que pueden formar bucles que permiten el suministro desde diferentes puntos, mejorando la confiabilidad. Una tercera clasificación son las interconectadas, las cuales son redes complejas con múltiples conexiones entre alimentadores y subestaciones, ofreciendo la mayor confiabilidad, pero también mayor complejidad en la operación (Kavya y Ashoka, 2019).

Desde la perspectiva de niveles de tensión, las redes se clasifican en media tensión (MT) y las componen las que transportan la energía desde las subestaciones de distribución hasta los transformadores de distribución, operando a tensiones como 13.2 kV, 23 kV o 34.5 kV. Por su parte, las redes de baja tensión (BT), distribuyen la energía desde los transformadores de distribución hasta los consumidores, operando a tensiones como 120/240 V o 277/480 V entre otros (ARESEP, 2016).

Las redes de distribución están conformadas básicamente por subestaciones de distribución, en donde se reduce la tensión de la transmisión a la distribución para luego ser distribuida por alimentadores primarios que salen de la subestación y alimentan los transformadores de distribución, quienes reducen la tensión de MT a BT. Las redes secundarias se encargan de llevar la energía desde estos transformadores de distribución a los consumidores, y por medio de acometidas, se conectan dicha red secundaria con las instalaciones del consumidor a través de un contador de energía que registra el consumo. A lo largo de la red de distribución, se instalan equipos de regulación, protección y control como reguladores, reconectores, fusibles, relés, etc. para proteger la red y controlar el flujo de energía (Arango y Correa, 2025).

Las redes de distribución enfrentan varios desafíos debido a la evolución del sistema eléctrico y las crecientes demandas de los consumidores, la integración de

energías renovables distribuidas (DER) que introduce flujos de energía bidireccionales y variabilidad en la red, lo que requiere nuevas estrategias de control y protección. Adicionalmente, la carga masiva de vehículo eléctricos puede generar picos de demanda y sobrecargar la red (Solís Ortega, et al., 2025).

Otro desafío son los equipos electrónicos sensibles que requieren una alta calidad de la energía, lo cual implica mantener la tensión dentro de rangos estrechos y minimizar las distorsiones armónicas. Para ello, se debe realizar una gestión del mantenimiento adecuada y reemplazar los componentes antiguos de la red, modernizando sus controles y sistemas. Justamente, la modernización, que implica una creciente digitalización de las redes, las hace vulnerables a los ciberataques, los cuales pueden interrumpir el suministro y causar daños. Por tanto, se deben implementar las medidas de seguridad adecuadas.

Las redes inteligentes (Smart Grids) son la solución actual a los desafíos tecnológicos de las redes de distribución, en donde se aborda la comunicación y el control avanzado para mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la flexibilidad de la red. En este esquema, los sistemas automatizan la operación de los equipos de la red para mejorar la respuesta ante fallas y optimizar el flujo de energía. Además, pueden incorporar y gestionar baterías y otros dispositivos de almacenamiento, los cuales pueden liberar su energía cuando sea necesario, ayudando a estabilizar la red y a gestionar la variabilidad de las DER.

Los medidores inteligentes, los cuales son dispositivos que miden el consumo de energía en tiempo real y permiten la comunicación bidireccional con la empresa de energía eléctrica, junto con una analítica de datos permanente y agilizada, también son parte fundamental para enfrentar los desafíos actuales de las redes de distribución eléctrica. Estas redes se encuentran en constante evolución, por lo tanto, deben adaptarse a las nuevas tecnologías, a las crecientes demandas de los consumidores y a los desafíos del sistema eléctrico moderno (Villalobos, 2024).

2.5.2. Modelado de redes de distribución eléctrica

El modelado de redes de distribución eléctrica es un proceso fundamental que implica la creación de una representación matemática o computacional del sistema físico, de tal manera que estos modelos permiten simular el comportamiento de la red bajo diferentes condiciones, analizar su desempeño y optimizar su operación y diseño (Lozada Rincón, 2019).

Los modelos de redes de distribución eléctrica permiten calcular el flujo de energía a través de la red, incluyendo las tensiones en los nodos, las corrientes en las líneas y las pérdidas de potencia, la cual es información esencial para asegurar que la red opere dentro de los límites de seguridad y eficiencia. Simular las corrientes de cortocircuito que ocurren durante las fallas proporciona un dato fundamental para el diseño de los sistemas de protección y para la selección de los equipos con la capacidad de interrumpir las corrientes de falla. Además, permite simular la operación de los dispositivos de protección (reconectores, fusibles, relés) bajo diferentes condiciones de falla. Por tanto, es esencial para coordinar su operación y garantizar la selectividad y la rapidez en el aislamiento de las fallas.

Estudiar la estabilidad de la red ante perturbaciones, la conexión o desconexión de grandes cargas o la ocurrencia de fallas es posible con la simulación modelada de la red, esto es importante para garantizar que la red pueda mantener el equilibrio entre la generación y la demanda y evitar colapsos de tensión o frecuencia. Adicionalmente, los modelos permiten optimizar la operación de la red, incluyendo la gestión del flujo de potencia, el control de la tensión, la reducción de las pérdidas de energía, la planificación de la expansión de la red y la toma de decisiones sobre inversiones, basados en condiciones simuladas del impacto de incremento o retiro de cargas, la conexión o desconexión de generación distribuida, o la instalación o retiro de nuevos equipos en la red.

Un modelo de red de distribución típica incluye nodos, los cuales representan puntos de conexión en la red, como subestaciones, transformadores, puntos de carga y puntos de generación; asimismo, incluye líneas, que representan los conductores que transportan la energía eléctrica, incluyendo información sobre su longitud, tipo de conductor, impedancia y capacidad. Los transformadores, las cargas, los recursos distribuidos y los dispositivos de regulación, protección y control también forman parte fundamental del modelado para lograr una simulación ajustada a la realidad operativa.

Existen diferentes métodos para modelar redes de distribución, que varían en su complejidad y precisión. El modelo estático representa la red en un instante de tiempo específico, utilizando valores de carga y generación constantes. Este modelo es adecuado para análisis de flujo de potencia y cortocircuito en estado estacionario. Por su parte, los modelos dinámicos representan el comportamiento de la red a lo largo del tiempo, considerando las variaciones en la carga, la generación y otros factores. Este modelo es necesario para estudios de estabilidad y simulación de transitorios (Lozada Rincón, 2019).

Desde la perspectiva de cantidad de fases, los modelos trifásicos representan las tres fases de la red por separado, lo cual es necesario para el análisis de redes desequilibradas y la simulación de fallas asimétricas, mientras que los modelos monofásicos simplifican la representación de la red, considerando solo una fase y pueden ser adecuados para ciertas aplicaciones donde el desequilibrio no es significativo.

Del mismo modo, se utilizan diversas herramientas de software para el modelado de redes de distribución, las cuales varían en su funcionalidad y capacidad. Los softwares ETAP, PSS/ADEPT, DigSILENT PowerFactory y NEPLAN son ejemplo de programas especializados para el análisis de redes eléctricas, incluyendo flujo de potencia, cortocircuito, coordinación de protecciones y estabilidad. Estos entran en la categoría de software de análisis de sistemas de potencia.

Otros softwares de simulación general, como MATLAB y Simulink, pueden utilizarse para modelar redes de distribución, especialmente para estudios dinámicos y simulación de transitorios, mientras que lenguajes de programación como Python y R pueden utilizarse para desarrollar modelos personalizados y realizar análisis de datos de la red.

2.5.3. Eventos de falla en redes de distribución eléctrica

Comprender los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir en las redes de distribución (por ejemplo, fallas monofásicas, bifásicas, trifásicas, fallas a tierra) y sus características (por ejemplo, magnitud de la corriente de falla, duración) es esencial para el análisis de los datos registrados durante un evento. Las redes de distribución eléctrica están sujetas a eventos de falla que pueden interrumpir el suministro de energía y causar daños a los equipos y el activo.

Las fallas en las redes de distribución eléctrica se pueden clasificar de varias maneras. Una de ellas es según la simetría. Las fallas simétricas (trifásicas) involucran a las tres fases de la red, estas son las menos comunes, pero más severas. El otro tipo de fallas es la asimétrica, en donde puede estar involucrada la falla a tierra de una o más fases (falla monofásica), la falla fase a fase (bifásica) o la falla por la apertura de una o dos fases (fase abierta) (Fenco Custodio, 2021).

Otra manera de clasificar las fallas es por su duración. Las fallas transitorias son aquellas eliminadas por sí solas o mediante la operación de reconectadores. Estas fallas generalmente son causadas por eventos temporales, como caída de ramas de árboles o impacto de animales voladores. Las fallas permanentes persisten y requieren la intervención de personal de mantenimiento para repararlas. Generalmente, implican daños en los equipos o la infraestructura.

Las fallas en las redes de distribución eléctrica pueden tener diversas causas, desde factores ambientales como condiciones climáticas (rayos, tormentas, fuertes

vientos, sismos, lluvia intensa, nieve y hielo), impacto de la vegetación que rodea la línea, especialmente en las zonas rurales, impacto de fauna especialmente de animales voladores y trepadores, y por contaminación con la acumulación de polvo, sal o contaminantes en los aisladores puede reducir su capacidad de aislamiento y provocar descargas eléctricas (Arango y Correa, 2025).

Las fallas en los equipos y materiales causadas por el envejecimiento y deterioro son otra causa de averías. El deterioro del aislamiento en cables, transformadores u otros equipos puede provocar cortocircuitos, además de que los equipos pueden fallar debido al desgaste y la corrosión con el tiempo. Adicionalmente, la sobrecarga puede sobrecalentar los equipos y provocar fallas, de igual manera que los errores de fabricación o instalación. Otras causas de fallas son producto de la actividad humana, como por ejemplo las excavaciones que pueden dañar cables subterráneos, accidentes de tránsito contra postes o equipos, el vandalismo y robo de cables o el daño intencionado a los equipos pueden causar interrupciones.

Para minimizar el impacto de las fallas, las redes de distribución eléctrica están equipadas con sistemas de protección, tales como los reconectadores, los cuales son dispositivos que interrumpen y restablecen automáticamente el servicio para despejar fallas transitorias y los fusibles, los cuales se funden y abren el circuito para proteger contra sobrecorriente. En forma similar, los pararrayos protegen contra sobretensiones causadas por rayos o maniobras.

Por otra parte, una apropiada coordinación de protecciones consiste en la selección y el ajuste coordinado de los equipos de protección para aislar las fallas de manera selectiva y minimizar las interrupciones, adicionado al uso de tecnologías de redes inteligentes para detectar, aislar y restaurar el servicio automáticamente, así como el uso herramientas de análisis de datos del estado de la red, para detectar anomalías y predecir fallas, es prioritario en la reducción y mitigación del impacto de las fallas eléctricas. De igual manera, es vital el mantenimiento regular de los equipos y la infraestructura para prevenir fallas y prolongar su vida útil (Lozada Rincón, 2019).

2.5.4. Coordinación de protecciones en redes de distribución eléctrica

La coordinación de protecciones es un aspecto fundamental del diseño y operación de redes eléctricas, el cual busca asegurar que, ante una falla, solo el dispositivo de protección más cercano a la falla opere, minimizando la interrupción del servicio (Fenco Custodio, 2021). El objetivo primordial de la coordinación de protecciones es minimizar la extensión y la duración de las interrupciones del servicio eléctrico causadas por fallas, lo cual se logra permitiendo que solo el dispositivo de protección más cercano a la falla (en la dirección de la fuente) opere para despejarla, mientras que los demás dispositivos permanecen inoperantes (Lozada Rincón, 2019).

En este tema, la selectividad es la capacidad del sistema de protección para aislar únicamente la parte del sistema donde ocurre la falla, dejando el resto del sistema en operación normal. La protección debe operar rápidamente para minimizar el daño a los equipos, reducir el riesgo de incendios y proteger la seguridad de las personas. Sin embargo, la rapidez debe equilibrarse con la selectividad para evitar operaciones incorrectas, operando de manera confiable cuando se requiere. El diseño adecuado de los dispositivos de protección, la correcta configuración de los ajustes y el mantenimiento periódico es esencial para cumplir dichos objetivos (Lozada Rincón, 2019).

En un esquema de coordinación de protecciones, deben considerarse los diferentes equipos de protección, tanto los fusibles que son dispositivos de un solo uso, los cuales se funden y abren el circuito ante una sobrecorriente, como los reconectadores monofásicos y trifásicos, que son interruptores automáticos que interrumpen y restablecen el servicio para despejar fallas transitorias. Cada equipo de protección protege una zona o sección a la que se le denomina zonas de protección.

La coordinación de los equipos de protección se realiza, regularmente, parametrizando los tiempos de respuesta de cada equipo conectado en serie o cascada, considerando las curvas de tiempo-corriente (TCC), las cuales representan el tiempo de operación de un dispositivo de protección en función de la magnitud de la corriente de

falla una vez superado un valor predeterminado. Existen diferentes tipos de curvas: el tipo instantánea opera en un tiempo muy corto, independientemente de la magnitud de la corriente; el tipo de tiempo definido que opera después de un tiempo predeterminado y, por último, las de tiempo inverso, en donde el tiempo de operación disminuye a medida que aumenta la corriente (NULEC, s. f.).

Para llevar a cabo un estudio de coordinación efectivo, es crucial comprender y analizar las diversas variables eléctricas interventoras. Estas variables proporcionan información sobre el comportamiento del sistema bajo condiciones normales y de falla, y permiten ajustar los dispositivos de protección para que operen de manera coordinada. La corriente es una de las variables eléctricas más importantes en el estudio de coordinación de protecciones.

La corriente que fluye en el sistema bajo condiciones normales de operación o corriente de carga deben considerarse para que los dispositivos soporten dicha magnitud sin operar. La corriente de falla es la corriente que fluye en el sistema durante una condición de falla, como un cortocircuito. Su valor máximo está definido por los valores de tensión e impedancia del sistema y se utiliza para determinar la capacidad de interrupción de los dispositivos de protección. La corriente de cortocircuito mínima es la corriente de falla más baja que puede ocurrir en un punto específico del sistema y se utiliza para asegurar que los dispositivos de protección operen de manera confiable ante fallas (NULEC, s. f.)

La corriente elevada que fluye cuando se energizan ciertos equipos, como transformadores o motores, se denomina corriente de arranque (*Inrush*). Además, la coordinación de protecciones debe contemplar este valor para que los dispositivos no operen bajo la presencia de estos valores de corriente durante la energización de una zona protegida.

Durante una falla de fase a tierra, se produce la corriente de falla a tierra, cuya magnitud y comportamiento pueden ser diferentes de las corrientes de falla de fase a

fase. En sistemas trifásicos, las corrientes pueden descomponerse en componentes de secuencia positiva, negativa y cero, por tanto, proporcionan información sobre el tipo y la magnitud de la falla.

La tensión (o voltaje) es otra variable eléctrica importante en el estudio de coordinación de protecciones. Tanto la tensión nominal, que es la tensión de diseño del sistema, como su límite superior (tensión máxima) y límite inferior (tensión mínima) deben ser considerados para el diseño y la protección del sistema. Los huecos de tensión (*Sags*), los cuales representan reducciones temporales de la tensión que pueden ser causados por fallas o arranques de grandes cargas. Por tanto, los dispositivos de protección deben coordinarse para evitar operaciones innecesarias durante estos eventos (NULEC, s. f.)

En sistemas trifásicos, el desequilibrio de tensión y corriente ocurre cuando las tensiones o corrientes de las tres fases no son iguales. De ser requerido, los dispositivos de protección pueden incluir funciones para proteger contra este desequilibrio de tensión o corriente.

El tiempo es una variable fundamental en la coordinación de protecciones, ya que determina la velocidad de operación de los dispositivos de protección. El tiempo denominado de operación es aquel que tarda un dispositivo de protección en operar después de detectar una condición de falla. Mientras tanto, el tiempo de recierre es el tiempo transcurrido entre la apertura y el cierre automático de los contactos. Por otra parte, y con gran relevancia en la coordinación, se define como tiempo de coordinación a la diferencia de tiempo entre el dispositivo de protección primario y el de respaldo (o siguiente hacia la fuente) para asegurar la selectividad (Lozada Rincón, 2019).

Comprender y analizar estas variables eléctricas es fundamental para diseñar un sistema de protección coordinado que proteja los equipos, minimice las interrupciones y garantice la seguridad del sistema eléctrico. La propuesta de esta tesis tiene un enfoque particular en la captura, almacenamiento y disposición en visualizaciones de fácil interpretación, de las variables interventoras durante un evento de falla eléctrica y quedan

registradas en los equipos de protección de la red. Además, en la actualidad, no se tiene una herramienta para su integración y visualización que facilite el análisis.

Si bien el estándar IEC 61850 es fundamental en la comunicación de sistemas de protección, los datos analizados en esta tesis provienen directamente de los softwares de gestión de reconectores NULEC y NOJA.

2.5.5. Esquemas de mantenimiento en redes de distribución eléctrica

Existen diferentes esquemas de mantenimiento, incluyendo el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. El análisis de datos de fallas puede favorecer la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y basado en la condición (Sanclemente, 2010). El mantenimiento de las redes de distribución eléctrica es esencial para garantizar su confiabilidad, seguridad y eficiencia. Los esquemas de mantenimiento definen las estrategias y los procedimientos para realizar las actividades de mantenimiento de manera efectiva.

Existen varios tipos de mantenimiento que se pueden aplicar a las redes de distribución eléctrica: el mantenimiento correctivo, el cual se realiza después de que ocurre una falla o avería para restaurar el equipo o el sistema a su estado operativo normal. Este esquema es reactivo y se enfoca en reparar o reemplazar los componentes defectuosos. Por otra parte, el mantenimiento preventivo realizado en forma programada para prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos incluye actividades como inspecciones, limpieza, ajustes y reemplazos programados de componentes.

Un tercer tipo de mantenimiento es el mantenimiento predictivo, el cual utiliza técnicas de monitoreo de condición para predecir cuándo es probable que ocurra una falla, permitiendo realizar el mantenimiento justo antes de que sea necesario, logrando la optimización de los costos y minimizando las interrupciones. Por último, se tiene el mantenimiento proactivo, que va más allá de prevenir fallas y busca mejorar la confiabilidad y el rendimiento de los equipos mediante el análisis de las causas raíz de

las fallas y la implementación de mejoras en el diseño, la operación y los procedimientos de mantenimiento (Sanclemente, 2010).

La selección del esquema de mantenimiento adecuado depende de la criticidad del equipo. Para aquellos cuya falla puede tener graves consecuencias, se requieren esquemas de mantenimiento más rigurosos. El costo de la falla en términos de la pérdida de producción, los daños a los equipos y los riesgos de seguridad asociados con una falla también influyen en la decisión.

El costo de realizar el mantenimiento debe equilibrarse con el beneficio de prevenir fallas, la frecuencia y la duración del mantenimiento deben considerar el tiempo que los equipos estarán fuera de servicio. Otros aspectos por considerar son la edad y la condición del activo, además de los requisitos de seguridad y normativos.

En las redes de distribución eléctrica, se aplican diversos esquemas de mantenimiento a los diferentes componentes. Las líneas aéreas se inspeccionan visualmente en rutinas periódicas para detectar daños, vegetación cercana y otros problemas. Acompañado de las inspecciones, se aplica la poda de árboles para evitar contactos con los conductores, reemplazo de aisladores, conductores y otros componentes deteriorados. La termografía es utilizada preventivamente para detectar puntos calientes en las conexiones y repararlas antes que colapsen por temperatura (J. González Calderón, comunicación personal, 2 de abril de 2025).

Como parte de la presente propuesta, se apuesta a un sistema capaz de registrar y analizar los eventos de fallas transitorios registrados en los diferentes equipos de protección instalados en la red con el propósito de establecer patrones que orientan el mantenimiento de la red en un esquema predictivo y la validación de efectividad de la coordinación de protecciones.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de una investigación se refiere a la orientación general como se aborda el problema de estudio y cómo se determina la forma en que se recolectarán, se analizarán y se interpretarán los datos. Esta elección direcciona el diseño de la investigación, el tipo de herramientas a utilizar y la naturaleza de los resultados esperados.

Principalmente, es necesario considerar que “existen tres tipos de enfoques en la investigación científica: cuantitativo, cualitativo y mixto” (Hernández Sampieri, et al., 2014, p.3).

En ese sentido, Hernández Sampieri, et al. (2014) afirman que:

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la recolección de datos numéricos y su análisis estadístico, buscando probar hipótesis mediante la medición precisa de variables, con el fin de establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Por su parte, el enfoque cualitativo se centra en la exploración profunda de los fenómenos en su ambiente natural, recolectando datos no numéricos (como narrativas, observaciones) para comprender la complejidad de las experiencias, percepciones y significados de los participantes. Finalmente, el enfoque mixto representa una combinación sistemática de los enfoques cuantitativo y cualitativo, buscando una comprensión más completa y profunda del fenómeno de estudio al aprovechar las fortalezas de ambos (pp.4-5).

La presente investigación adopta un enfoque mixto con predominancia cuantitativa, por cuanto busca diseñar e implementar una herramienta interactiva basada en el procesamiento de datos numéricos y cualitativos para la optimización de los análisis.

La componente cuantitativa del estudio se centra en la recolección, integración y visualización de datos numéricos procedentes de los equipos de protección de la red de

distribución eléctrica que incluye magnitudes de corrientes de falla, tiempos de operación, estampas de tiempo de los eventos, tipos y cantidad de eventos.

Las visualizaciones basadas en estos datos buscan identificar patrones, tendencias y correlaciones que permitan optimizar el análisis de los esquemas de protección y la planificación del mantenimiento, utilizando métodos estadísticos y herramientas de visualización de datos, fundamentales para evaluar la efectividad de la herramienta interactiva propuesta.

Por otra parte, el componente cualitativo aporta la descripción de los procesos y la interpretación de los aspectos que no son fácilmente cuantificables. Esta fase contempla el análisis detallado del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos, así como la identificación de las características de los equipos de protección y software propietarios, incluyendo sus limitaciones técnicas y operativas.

Ambos enfoques combinados permitirán una comprensión integral del problema y una validación robusta de la herramienta propuesta. Por ende, la información cuantitativa proporcionará la posibilidad de establecer métricas de desempeño, mientras que los elementos cualitativos ofrecerán el contexto, enriqueciendo la relevancia de la propuesta.

3.2. Método de la Investigación

Hernández, et al. (2014) definen los diseños no experimentales como "investigaciones que se realizan sin la manipulación deliberada de variables donde solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos" (p. 152). De acuerdo con el enfoque mixto predominantemente cuantitativo establecido, la presente investigación se fundamenta en un diseño no experimental con un alcance transversal descriptivo y correlacionado, basado en un estudio de caso particular. El diseño implica recolección de datos en periodos de tiempo determinado, lo cual es adecuado para analizar los datos de fallas registrados en los equipos de protección.

El estudio busca analizar el proceso actual de manejo de datos de fallas al identificar sus limitaciones técnicas y operativas, y describir las características básicas de los equipos y software involucrados. Esto es consistente con la naturaleza descriptiva de este alcance y alineado al primer objetivo específico.

La investigación no manipulará deliberadamente variables, sino que observará y analizará datos ya existentes (registros de eventos de falla de los reconectores) y procesos ya establecidos (descarga y almacenamiento de datos en el ICE). Ello identifica su naturaleza no experimental, alineándose con el primer objetivo específico de "analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas".

El estudio busca analizar el proceso actual de manejo de datos de fallas, identificando sus limitaciones técnicas y operativas, y describir las características de los equipos y software involucrados, lo cual es consistente con la naturaleza descriptiva de este alcance y alineado al primer objetivo específico.

Del mismo modo, no se buscarán relaciones causales directas manipulando variables, sin embargo, sí se visualizarán las relaciones entre los datos integrados (magnitudes de corrientes, tiempos de disparo, tipos de falla) para contribuir a la identificación de patrones y tendencias. Dicha situación es fundamental para optimizar el análisis de la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento, y de esta forma, correlacionar la ocurrencia de ciertos tipos de fallas y su impacto en la red o el comportamiento de los equipos.

La delimitación geográfica a un circuito específico ("Circuito Palmar Sur de la Subestación Palmar en la Región Brunca ") permite aplicar un estudio de caso, lo cual facilita un análisis detallado de las características y problemáticas de la red en ese entorno particular, permitiendo comprender el fenómeno en su contexto real, aspecto fundamental para contextualizar la herramienta propuesta y sus visualizaciones.

La aplicación de este método en el estudio se llevará a cabo a través de las siguientes 4 fases concretas:

3.2.1. Primera fase: Análisis del proceso actual y recolección de datos

Esta fase se centra en el primer objetivo específico: "*Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas*". Implica realizar un análisis del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla alojados en los equipos de protección ubicados en el Circuito Palmar Sur. Esta fase incluirá la revisión de la documentación técnica de los equipos de protección NULEC y NOJA, el acompañamiento en la interacción con los softwares de gestión, la identificación de los formatos de salida de datos (CSV, y XLSX), la comprensión de las prácticas de interrogación y almacenamiento de datos de los equipos, y la recolección de datos históricos de fallas del primer semestre de 2025 de los equipos en estudio.

3.2.2. Segunda fase: Diseño e implementación del modelo de datos unificado

Esta fase aborda directamente el segundo objetivo específico: "*Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad*". Los datos recolectados, al ser heterogéneos y provenientes de diferentes fuentes, serán sometidos a un proceso de integración y normalización. Se desarrollarán rutinas en Power Query, componente ETL de Power BI, las cuales permitirán la transformación y unificación de los datos provenientes de los archivos CSV y XLSX. El resultado de esta fase será el modelo de datos unificado y estructurado en Power BI, garantizando su consistencia y accesibilidad para el análisis posterior.

3.2.3. Tercera fase: Diseño e implementación del dashboard interactivo

Esta fase se centra en el diseño e implementación de visualizaciones a partir del modelo de datos unificado en línea con el objetivo general de "*Diseñar e implementar una herramienta interactiva...*" y los requisitos para optimizar el análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento en la red eléctrica bajo estudio. Se utilizará el software Power BI de análisis de datos, el cual es seleccionado por las ventajas del lenguaje DAX (Data Analysis Expressions) para el cálculo de métricas, y por contar con licenciamiento dentro del ICE. Las visualizaciones estarán orientadas a representar información que facilite la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento, contribuyendo a la toma de decisiones.

3.2.4. Cuarta fase: evaluación de la efectividad del dashboard interactivo

Esta fase final del proceso busca evaluar la efectividad del *dashboard* interactivo propuesto en línea con el tercer objetivo específico. Consistirá en realizar un análisis de los datos a partir de las visualizaciones interactivas desarrolladas, demostrando cómo la herramienta facilita el análisis de los eventos de falla. Se determinará la funcionalidad del *dashboard* y cómo sus resultados pueden proporcionar optimización para la toma de decisiones en la operación y el mantenimiento de la red de distribución mediante el análisis de hallazgos puntuales y la aplicación de una encuesta a expertos de la Región Brunca relacionados con la operación y el mantenimiento de la red de distribución eléctrica.

Este diseño metodológico está orientado a cumplir con los objetivos de la tesis al proporcionar una base sólida para el diseño e implementación de la herramienta, lo cual se fundamenta en el análisis detallado de los datos, su integración y la evaluación de las visualizaciones para la optimización de los procesos operativos.

3.3. Fuentes de información

Para el desarrollo de la presente investigación, la información se obtendrá de diversas fuentes primarias y secundarias, en concordancia con el enfoque mixto predominante cuantitativo y el diseño no experimental del estudio. Hernández, et al. (2014) señalan que “las fuentes de información pueden ser personas, documentos, o archivos que contengan los datos que se desean recolectar” (p. 200). Dichas fuentes serán principalmente documentales y de sistemas.

3.3.1. Fuentes primarias

Las fuentes primarias de esta investigación serán aquellos datos originales directamente relacionados con los eventos de falla y la operación de los equipos en la red de distribución, y obtenidos a partir de la descarga de datos específicamente de los reconectadores NULEC y NOJA del Circuito Palmar Sur (F. Sáenz Gutiérrez, comunicación personal, 1 de marzo de 2025).

El tipo de información por obtenerse está representado por datos históricos de eventos de falla, incluyendo: estampa de tiempo (fecha y hora con resolución de milisegundos), magnitudes de corrientes de falla (corriente fase y neutro) y tipo de falla (pickup, disparo, lockout) (ICE, 2020).

El acceso a esta información se realizará mediante la descarga de los registros de eventos utilizando el software propietario de cada marca: WSOS para reconectadores NULEC y CMS para reconectadores NOJA. La descarga se efectúa en forma local o remota a través de los puertos de comunicación y sistemas de gestión disponibles del ICE, y se exportarán, a un repositorio en SharePoint, los datos con formatos estándar (CSV y XLSX) para su posterior procesamiento. Los permisos de acceso al repositorio SharePoint serán solicitados al Ing. Mauricio Guzmán, encargado del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

3.3.2. Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias proporcionarán el sustento teórico, normativo y contextual necesario para comprender el funcionamiento de los equipos, el entorno de la red y las prácticas de operativas.

3.3.2.1. Procedimientos operativos regionales del ICE

Para este efecto, la Región Brunca cuenta con procedimientos operativos regionales, los cuales se consultarán al Ing. Mauricio Guzmán, encargado del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

3.3.2.2. Inventario de la red de distribución eléctrica

Se consultará el inventario de la red de distribución eléctrica para obtener información sobre la topología y configuración del Circuito Palmar Sur y la identificación de los equipos instalados. El acceso a esta información será mediante solicitud formal al personal del Área de Equipos Especiales y SIRDE de la Región Brunca (F. Sáenz Gutiérrez, comunicación personal, 1 de marzo de 2025)

3.3.2.3. Manuales y guías de fabricantes: NULEC y NOJA

Los manuales y guías de fabricantes detallan las características técnicas y operativas de los reconectadores NULEC y NOJA, especificaciones de sus softwares de gestión (WSOS y CMS), estructura de los archivos de registro de eventos, capacidades de comunicación y formatos de exportación de datos. El acceso se realiza mediante la descarga desde los portales web de los fabricantes (NOJA POWER, 2011; NULEC, s. f.)

3.3.2.4. Informes de calidad del servicio de ARESEP

Para el caso específico de informes de calidad del servicio de ARESEP, estos contienen datos sobre indicadores de continuidad del servicio eléctrico (FPI, DPIR) y

causas de averías a nivel nacional y regional, lo cual es útil para contextualizar la problemática. Se accede a ellos mediante la descarga desde el sitio web oficial de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP).

Esta combinación de fuentes permitirá obtener una comprensión integral del problema y desarrollar una herramienta validada en el contexto específico de las redes de distribución del ICE en la Región Brunca.

3.4. Variables de análisis

La presente investigación, predominantemente cuantitativa, se fundamenta en la identificación y análisis de variables claves derivadas de los datos de eventos de falla registrados en los equipos de protección de la red de distribución eléctrica. De acuerdo con Hernández, et al. (2014), las variables son "propiedades que adquieren distintos valores o pueden variar, y su variación es susceptible de medirse u observarse" (p. 83). Para cada variable, se establecerá su definición conceptual, operacional e instrumental:

3.4.1 Variables asociadas al objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas

Para este objetivo, las "variables" se entienden como propiedades del proceso y de los equipos descritos y analizados, los cuales son necesarios para comprender la base de la integración de datos.

3.4.1.1. Descarga de datos

Definición conceptual: conjunto de pasos y procedimientos empleados por el personal del ICE para extraer los registros de eventos de falla directamente de los reconectores NULEC y NOJA en forma local o remota.

Definición operacional: se medirá a través de la observación de las prácticas actuales del personal del Área de Equipos Especiales del ICE en la Región Brunca.

Definición instrumental: interacción con software WSOS (NULEC) y CMS (NOJA).

3.4.1.2. Formatos de datos de salida

Definición conceptual: la estructura y el tipo de codificación en que los reconectores NULEC y NOJA exportan los registros de eventos de falla, previo o posterior a su descarga mediante el software propietario.

Definición operacional: se obtendrá mediante la descarga de ejemplos de archivos de registro de eventos de ambas marcas y su posterior análisis de su estructura (columnas, delimitadores, tipos de datos).

Definición instrumental: se utilizará Microsoft Excel para explorar el contenido de los archivos .csv, y .xls, generados por WSOS y CMS.

3.4.1.3. Proceso de almacenamiento de datos

Definición conceptual: la metodología y las ubicaciones (SharePoint institucional) donde el personal de la Región Brunca del ICE almacena los registros de eventos de falla una vez descargados de los reconectores.

Definición operacional: se medirá a través de la observación de las ubicaciones de almacenamiento de los archivos exportados.

Definición instrumental: estructura de carpetas en SharePoint institucional.

3.4.3. Variables asociadas al objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad mediante la limpieza, validación, integración, unificación y estructuración de los datos

Este objetivo se centra en la unificación de la información, por lo tanto, las variables aquí son los atributos de los eventos de falla que serán estandarizados para una visualización unificada.

3.4.3.1. Estampa de tiempo del evento

Definición conceptual: el punto preciso en el tiempo (fecha y hora con alta resolución) cuando ocurre un evento de falla o una operación del reconectador.

Definición operacional: se obtendrá directamente de las columnas de "Fecha/Hora" presentes en los registros de eventos de los reconectadores NULEC y NOJA.

Definición instrumental: columna 'Fecha/Hora' en archivos CSV/XLSX de WSOS y CMS.

3.4.3.2. Corriente de falla: magnitud por fase y neutro

Definición conceptual: el valor de la corriente (en amperios) registrada en cada una de las fases (R, S, T) y en el neutro, en el momento de la ocurrencia de la falla y registradas en los reconectadores.

Definición operacional: se extraerá de las columnas correspondientes a las mediciones de corriente en los registros de eventos de NULEC y NOJA al estandarizar las unidades y su formato numérico.

Definición instrumental: datos de 'Corriente_Fase_R', 'Corriente_Fase_S', 'Corriente_Fase_T', 'Corriente_Neutro' o equivalentes en archivos CSV/XLSX de WSOS y CMS, transformadas a columnas 'Magnitud', 'Fase' y 'Tipo de Operación' en el modelo unificado.

3.4.3.3. Tipo de evento

Definición conceptual: la clasificación del evento registrado por el reconectador, el cual puede ser una detección de sobrecorriente (pickup), una apertura momentánea (disparo) o un bloqueo (apertura definitiva).

Definición operacional: se obtendrá de la columna descriptiva del evento en los registros de NULEC y NOJA, y se categorizará en una nomenclatura unificada ("I. Pickup", "I. Disparo", "Lockout").

Definición instrumental: columna 'Tipo Evento' en archivos unificado.

3.4.3.4. Identificador de equipo

Definición conceptual: Un código alfanumérico único que permite identificar en forma inequívoca cada reconectador instalado en la red de distribución.

Definición operacional: se obtendrá del nombre del archivo de registro, de los metadatos de los archivos exportados por el software propietario, o de la información del inventario del ICE.

Definición instrumental: nombre del archivo exportado, metadatos del archivo de registro, o campo 'ID_Equipo', equivalente en el inventario DDyC - SIRDE.

3.4.4. Variables asociadas al objetivo 3: Evaluar la efectividad del dashboard interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos

Estas variables serán presentadas gráficamente y visualizadas a través de la herramienta propuesta para cumplir con el objetivo general de optimizar el análisis de la coordinación de protecciones y los aportes a la planificación del mantenimiento.

3.4.4.1. Secuencia de eventos de operación

Definición conceptual: el orden cronológico y la temporalidad de las operaciones (I Pickup, I. Disparo, Lockout) de uno o varios reconectadores ante un mismo evento de falla, oportuno para evaluar la selectividad.

Definición operacional: se construirá a partir de la estampa de tiempo del evento y el tipo de evento de múltiples reconectadores involucrados en una falla. Se visualizan tiempos entre eventos, magnitud máxima de corrientes de falla de operación.

Definición instrumental: combinación de 'Estampa de tiempo del evento', 'Tipo de Evento' y la 'Magnitud de la corriente de falla en amperios' de cada equipo.

3.4.4.2. Frecuencia de fallas por equipo/tipo

Definición conceptual: el número de eventos de falla ocurridos en una sección específica de la red (basado en el equipo que registra datos) y clasificados por su tipo de evento útil para la planificación del mantenimiento.

Definición operacional: se calculará mediante el conteo de eventos por 'Equipo', 'Tipo de Evento' y se asociará al periodo de tiempo seleccionado.

Definición instrumental: conteo de 'Tipo de Evento' por 'Equipo' de los datos integrados, en el periodo seleccionado.

3.5. Instrumentos

Este apartado describe los instrumentos y las herramientas seleccionadas para la recolección, procesamiento y análisis de los datos, así como para el desarrollo de las visualizaciones propuestas, considerando el enfoque mixto predominante cuantitativo de la investigación.

De acuerdo con Hernández, et al. (2014), los instrumentos de recolección de datos son cualquier recurso (o formato) del que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. En este estudio, los instrumentos serán principalmente de naturaleza documental, de software y de comunicación, directamente vinculados a las fases de la investigación.

3.5.1. Instrumentos asociados al objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas

Para la descripción detallada del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos, se utilizarán instrumentos que permitan acceder a la información existente y a la experiencia operativa.

3.5.1.1. Documentación técnica y manuales operativos

Selección: estos documentos son esenciales para comprender la estructura de los datos de salida y las metodologías actuales. Por tanto, son seleccionados por ser la fuente oficial y primaria de información sobre las características de los equipos de protección, los procedimientos establecidos por el ICE en la Región Brunca para la

gestión de datos y las funcionalidades específicas de los softwares propietarios (WSOS y CMS) para la descarga y el almacenamiento de eventos.

Aplicación: se realizará una revisión de los manuales de usuario del WSOS de NULEC y del CMS de NOJA, las especificaciones técnicas licitatorias del ICE para reconectores y el procedimiento interno del Área de Equipos Especiales relacionado con la descarga y el almacenamiento de datos de fallas. Esto permitirá documentar los pasos, configuraciones y formatos de archivos generados correspondientes a las variables de “*Descarga de datos, formatos de datos de salida y proceso de almacenamiento de datos*”.

3.5.1.2. Consultas a expertos operativos del ICE de la Región Brunca y acompañamiento en la interacción con los softwares de gestión

Selección: la consulta por correo electrónico institucional y nota formal con el propósito de documentar respuestas específicas sobre procedimientos, observaciones y necesidades. El acompañamiento durante sesiones de descarga de datos permitirá conocer y documentar a detalle el proceso, lo cual reduce la consulta escrita al personal.

Aplicación: se enviarán correos electrónicos con nota al ingeniero a cargo del Área de Equipos Especiales del ICE en la Región Brunca. La consulta se centrará en indagar sobre las prácticas actuales, las dificultades encontradas en la descarga de datos de diferentes marcas, la interpretación de los registros y las necesidades operativas. Se coordinará con el dicho ingeniero mencionado para el acompañamiento durante algunas sesiones de descarga y almacenamiento de datos, realizando capturas de pantalla claves para la caracterización del proceso (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

La información obtenida por este medio servirá para enriquecer la descripción de las variables de “*descarga de datos, formatos de datos de salida y proceso de almacenamiento de datos*”, y la validación de la propuesta cualitativamente. En el **Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos**

Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional” se incorporan las notas de procedimientos facilitados por el Ing. Guzmán, encargado del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca.

3.5.2. Instrumentos asociados al objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad mediante la limpieza, validación, integración, unificación y estructuración de los datos

Para el diseño e implementación del modelo estructurado para integrar datos heterogéneos, la herramienta principal será un componente específico de software de inteligencia de negocios con licencia en el ICE.

3.5.2.1. Power Query

Selección: Power Query es una herramienta de extracción, transformación y carga (ETL) potente, flexible e integrada en Microsoft Power BI. Es seleccionada por su capacidad para conectar con diversas fuentes de datos (incluyendo archivos CSV y XLSX generados por los softwares propietarios), limpiar, transformar y combinar datos de manera eficiente. Su interfaz gráfica facilita la creación de flujos de transformación sin necesidad de programación compleja, lo cual es idóneo para estandarizar y unificar datos multiformato en una estructura coherente para el análisis posterior (*Introducción a Power BI Desktop*, 2023).

Aplicación: el proceso de integración se realizará importando a Power Query, los archivos de registros de eventos (CSV, XLSX), descargados de los reconectores NULEC y NOJA y alojados en una carpeta en SharePoint. Es necesario manifestar que se diseñarán y se aplicarán transformaciones de datos para lograr los siguientes propósitos:

- Normalizar las variables de estampa de tiempo del evento y tipo de evento.
- Unificar las columnas de corriente de falla (magnitud por fase y neutro).
- Estandarizar los identificadores de equipo (equipo).
- Limpiar y dar forma a los datos para asegurar la calidad y consistencia.
- Crear un modelo de datos unificado que represente la información de fallas de ambos fabricantes de manera consistente.

La estructura de este modelo de datos unificado, incluyendo el mapeo de los campos de datos de origen a las variables unificadas, se incluirá como **Apéndice C: Plantilla de datos unificada para eventos de falla**".

3.5.3. Instrumentos asociados al objetivo 3: Evaluar la efectividad del dashboard interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos

Para la evaluación de la efectividad del *dashboard* interactivo, se utilizará la plataforma de inteligencia de negocios que contiene la herramienta ETL Power Query previamente definida: Microsoft Power BI, complementada con un instrumento de retroalimentación de expertos.

3.5.3.1. Software Microsoft Power BI

Selección: Power BI es una plataforma de análisis empresarial líder, la cual es reconocida por su capacidad para crear informes y paneles interactivos y visualmente atractivos a partir de diversas fuentes de datos. Su interfaz intuitiva y sus potentes capacidades de visualización permiten transformar datos complejos en información comprensible para los usuarios finales, lo cual es fundamental para "optimizar el análisis de la coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento" (*Introducción a Power BI Desktop*, 2023). Además, al formar parte del ecosistema Microsoft, se alinea

con las herramientas disponibles bajo licenciamiento del ICE, como se establece en las limitaciones de la investigación.

Aplicación: una vez que los datos hayan sido integrados y unificados utilizando Power Query, el modelo de datos resultante se utilizará en Power BI para diseñar y construir paneles interactivos que visualicen las variables claves:

- Secuencia de eventos de operación (gráfico de barras de eventos distribuidos cronológicamente).
- Magnitud de corriente de falla superpuesta en las barras de eventos.
- Frecuencia de fallas por periodo, equipo y tipo (gráficos de barras y conteo de eventos).
- Tendencia de eventos de falla a lo largo del tiempo (gráficos de líneas, tablas de eventos).

3.5.3.2. Encuesta a expertos del ICE

Selección: este instrumento corresponde a un formulario en línea y es seleccionado para evaluar la efectividad del *dashboard* interactivo y la mejora en el análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento, mediante la retroalimentación directa de expertos del Área de Equipos Especiales y Mantenimiento del ICE en la Región Brunca. La encuesta en línea permitirá recopilar percepciones cualitativas sobre aspectos como usabilidad, relevancia y valor de la herramienta, las cuales son fundamentales para validar su impacto.

Aplicación: se enviará una encuesta mediante un formulario en línea diseñado específicamente para el personal profesional de las Áreas de Equipos Especiales y Mantenimiento de la Región Brunca. El formulario incluirá preguntas sobre facilidad de acceso a la información, claridad de la integración de datos, relevancia y comprensibilidad de las visualizaciones, apoyo a la optimización de la coordinación y el mantenimiento, usabilidad general y intención de uso futuro. La retroalimentación obtenida se documentará en el **Apéndice D: Retroalimentación de la evaluación de la herramienta**”.

Capturas de pantalla del prototipo de la herramienta desarrollada en Power BI, junto con ejemplos de sus visualizaciones claves serán presentados en el desarrollo del análisis de resultados.

3.6. Proceso para la recolección y análisis de datos

Este proceso se ejecutará siguiendo una secuencia lógica de fases que permitirán cumplir con los objetivos específicos. En última instancia, se evaluará la efectividad del *dashboard* interactivo en la optimización del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos. Este proceso se fundamenta en el método de investigación no experimental con predominancia cuantitativa y se apoya en las fuentes e instrumentos previamente detallados. A continuación, se describe cada fase, además de los pasos concretos que se llevarán a cabo para la recolección y análisis de los datos.

3.6.1. Fase de análisis y recolección de datos

Esta fase se enfoca en la obtención de la información primaria y secundaria necesaria para el estudio, alineada con el objetivo 1: "Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento *de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas*".

La recolección de los datos primarios se iniciará con la solicitud de acceso a los registros de eventos de falla del primer semestre de 2025 de los reconectadores NULEC y NOJA instalados en el Circuito Palmar Sur de la Subestación Palmar. Este acceso se gestionará con el Área de Equipos Especiales en la Región Brunca del ICE mediante solicitud formal con nota y vía correo institucional, especificando el formato de salida y el periodo específico requerido. Para NULEC, se solicitará el formato separado por coma (.csv), y para NOJA el formato Excel (.xlsx). La solicitud implica acceso a lectura (no

edición) de los archivos descargados y almacenados en una carpeta Institucional destinada para tal efecto en la región.

Adicionalmente, al personal del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca del ICE, se le solicitará información relevante del proceso, así como la posibilidad de participación, en acompañamiento como visor, en los procesos de descarga y almacenamiento de datos con la opción de capturar detalles y pantallazos con su descripción funcional (Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional”).

3.6.2. Fase de preparación, modelo de datos unificado, diseño e implementación de Dashboard

Esta fase se enfoca en transformar los datos recolectados a un formato consistente para su análisis coherente con el objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad mediante la limpieza, validación, integración, unificación y estructuración de los datos.

A partir de los archivos de registros de eventos de NULEC y NOJA en sus respectivos formatos de exportación (CSV, XLSX) y alojados en una carpeta institucionales compartidas, se importarán al entorno de Power Query, integrado en Microsoft Power BI, estableciéndose conexiones a la carpeta que contenga los datos de los reconectores NULEC y NOJA para realizar una limpieza inicial, lo cual consiste en la identificación y corrección de errores básicos, valores atípicos evidentes, posibles inconsistencias en la codificación de caracteres, valores duplicados y la correcta estampa de tiempo de los eventos.

Dentro de Power Query, se aplicarán las transformaciones necesarias para unificar las variables claves identificadas:

- Se normalizará el formato de fecha y hora para garantizar la consistencia entre ambas marcas.
- Se estandarizarán las unidades (amperios) para corriente de falla (magnitud por fase y neutro), y se asegurará que las columnas tengan un formato numérico uniforme, manejando posibles valores faltantes o nulos.
- Se creará una categorización unificada para los tipos de eventos ("I Pickup", "I. Disparo", "Lockout") a partir de las descripciones originales de cada marca.
- Se extraerá un identificador único para cada reconectador (equipo).

Realizadas todas las transformaciones requeridas, los datos unificados y estructurados pasarán a ser el modelo de datos de Power BI listos para la fase de visualización y análisis.

Sobre el modelo de datos unificado en Power BI, se aplicarán funciones DAX (Data Analysis Expressions) y las herramientas integradas para realizar el análisis requerido para las variables:

- Secuencia de eventos de operación: se generarán instrucciones que permitan trazar la cronología de las operaciones de múltiples equipos ante un mismo evento de falla, mostrando distintos eventos en forma cronológica.
- Magnitud de corriente de falla: se procesarán los datos de corriente de falla para mostrado el máximo valor alcanzado en cada evento.
- Frecuencia de fallas por equipo y tipo: se aplicarán instrucciones para contar y agrupar los eventos por "equipo" y tipo de evento.
- Tendencia de eventos de falla a lo largo del tiempo: se mostrará la cantidad de eventos por periodos (mensual, semanal, diario) para identificar tendencias y patrones estacionales.
- Los datos se mostrarán en gráficas y tablas dinámicas mediante filtros seleccionables. Podrá visualizarse en forma individual o comparativa entre equipos.

La interpretación de los resultados de este análisis buscará mostrar patrones de operación de protecciones (selectividad correcta o incorrecta), áreas de la red con alta incidencia de fallas, tipos de fallas predominantes y tendencias a lo largo del tiempo. Dicha situación es relevante para optimizar el análisis de coordinación de protecciones y emitir recomendaciones para planificación del mantenimiento.

Con base en el análisis anterior, se diseñarán y se construirán paneles interactivos en Power BI, seleccionando los tipos de visualizaciones más adecuados para cada variable (gráficos de barras para frecuencia y gráficos de puntos para valores de corriente combinados), incluyendo filtros, segmentaciones de datos y jerarquías para permitir a los usuarios explorar la información en forma dinámica y realizar sus propios análisis, enfocando el diseño en factores como claridad, usabilidad y agilidad en la interpretación de los resultados para la toma de decisiones.

3.6.3. Fase de evaluación la efectividad de la herramienta propuesta

Esta fase final del proceso busca determinar la efectividad y el valor de la herramienta desarrollada a través de la realización de una verificación interna de la funcionalidad de la herramienta para asegurar que todas las visualizaciones se generen correctamente. Asimismo, que los datos se muestren en forma precisa y la interactividad funcione según lo diseñado en pro de mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento.

Se presentará el prototipo de la herramienta a ingenieros y técnicos claves del Área de Equipos Especiales y Mantenimiento del ICE en la Región Brunca, solicitando su retroalimentación (vía formulario en línea) sobre aspectos como usabilidad de la herramienta, relevancia de las visualizaciones y de la información presentada, y cómo esta herramienta podría proporcionar valor en su análisis de la coordinación de protecciones y en la planificación del mantenimiento con el fin de validar si la herramienta efectivamente "mejora el análisis de coordinación de protecciones y la planificación del

mantenimiento mediante la retroalimentación de expertos", tal como se indica en el tercer objetivo de esta tesis.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo se dedica a la exposición y discusión de los resultados obtenidos a partir de la aplicación del marco metodológico de esta investigación. En ese sentido, el propósito es presentar los hallazgos obtenidos del proceso de recolección, integración y visualización de los datos de eventos de falla en la red de distribución eléctrica del Circuito Palmar Sur de la Región Brunca del ICE.

Los resultados se estructuran en función de los objetivos específicos planteados en la tesis, demostrando cómo la herramienta interactiva propuesta mejora el análisis de la situación del sector protegido por el equipo, optimizando el proceso de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento. Adicionalmente, los hallazgos se interpretan a la luz del marco teórico y los antecedentes revisados, proporcionando una comprensión de la problemática y la contribución de la solución propuesta.

4.1. Resultados del objetivo 1: Analizar el proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla en equipos de protección, identificando sus limitaciones técnicas y operativas

Este apartado presenta los hallazgos obtenidos de la fase de análisis y recolección de datos orientada a comprender el proceso actual de descarga y almacenamiento de los registros de eventos de falla de los reconectadores NULEC y NOJA en el Circuito Palmar Sur. Los resultados se derivan de la revisión de documentación técnica, interacción con los softwares de gestión y de las consultas realizadas a expertos operativos del ICE.

4.1.1. Proceso de descarga de datos de los reconectadores NULEC y NOJA

La recolección de datos primarios se gestionó con el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca del ICE, específicamente para los registros de eventos de falla del primer semestre de 2025 en el Circuito Palmar Sur. La descarga de estos datos se realizó

a través de softwares propietarios específicos de cada marca, tal como se identificó mediante la revisión documental (NOJA POWER, 2022; NULEC, s. f.), las consultas a expertos y experiencias compartidas con personal del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca del ICE. La sesión de trabajo en conjunto se realizó el día 13 de junio, fecha propuesta por el ingeniero Guzmán, tomándose capturas de pantalla del proceso de descarga y almacenamiento de los datos (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 25 de marzo de 2025). La actualización de los datos para completar el mes de junio se realizó el día 1 de julio del año 2025.

4.1.1.1. Reconectores NULEC y Software WSOS

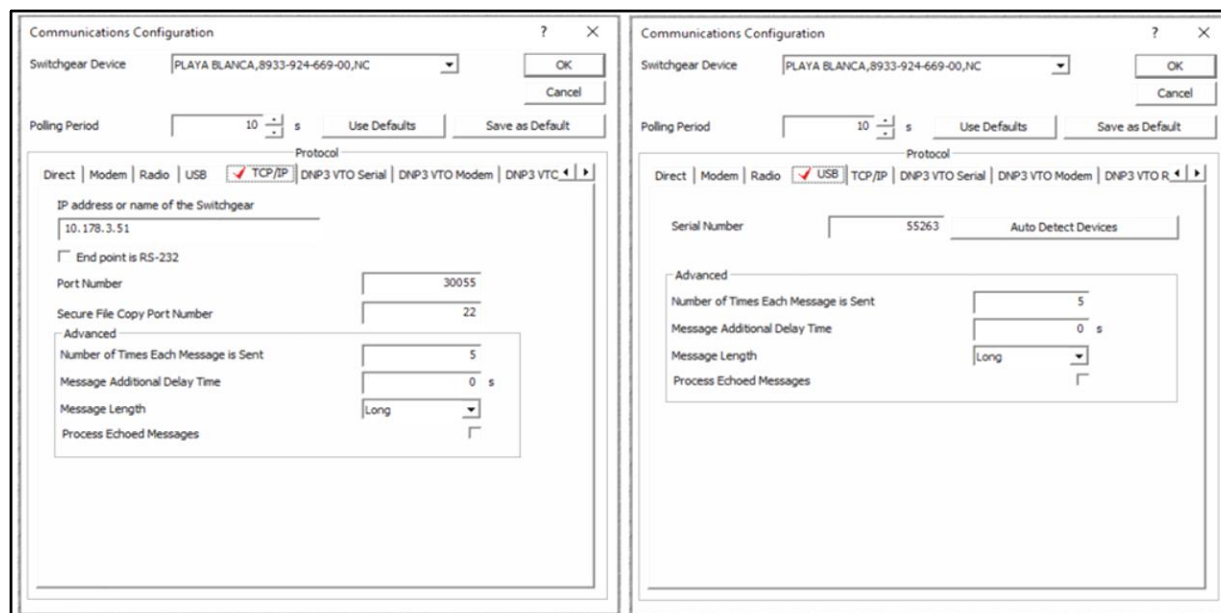
La descarga de los archivos de eventos de los reconectores NULEC se efectuó en forma manual a través del software de gestión WSOS, exportando el archivo de interés en formato separado por coma (.csv). Aunque WSOS ofrece una opción de descarga automática programada (ADR), la cual guarda archivos en formato SQLite, la práctica operativa identificada indica que esta funcionalidad no es utilizada rutinariamente por la complejidad de acceso al formato de datos, fuerte limitante para una automatización del proceso de descarga de datos (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

El acceso a los datos de los equipos NULEC se realiza en sesión remota acordada con el ingeniero Mauricio Guzmán. En ese sentido, la forma de comunicación con los equipos se realizó por medio de comunicación celular (3G) para los siguientes equipos:

- Recloser Palmar Sur, marca Nulec, Trifásico, comunidad Palmar Sur
- Sierpe-San Juan, marca Nulec, Trifásico, comunidad de Sierpe
- San Juan Palmar Sur, marca Nulec, Trifásico, comunidad de San Juan
- Palma o Playa Blanca, marca Nulec, Trifásico, comunidad de La Palma
- Drake, marca Nulec, Monofásico, comunidad de Puerto Escondido
- Caletas - Guarda Costas, marca Nulec, Monofásico, comunidad de Caletas de Drake

Los equipos “Recloser Finca 6” y “Progreso-Drake”, no se encontraban operativos por daño interno a pesar que, en comunicación previa de Guzmán (Comunicación personal, 25 de marzo de 2025), había indicado que sí estaban operativos. Asimismo, se detectó que el nombre del equipo identificado en la comunicación de Sáenz como “La Palma” se conoce también como “Playa Blanca” (F. Sáenz Gutiérrez, comunicación personal, 1 de marzo de 2025).

La primera acción para realizar la conexión al equipo es la configuración del medio del canal de comunicación. La **Figura 9** muestra una captura de pantalla del software de gestión WSOS, donde se muestra la configuración de la comunicación para conexión celular (TCP/IP) o local usando el puerto USB (cable). En el caso de comunicación celular, debe parametrizarse la dirección IP del modem instalado en el equipo, mientras que, en caso de comunicación directa vía cable y puerto USB, debe identificarse el número de serie, el cual puede también ser autodetectado. Otros medios de comunicación están disponibles en este equipo, como modem, radio y serial, entre otros, sin embargo, no son utilizados por el personal ICE para la descarga de datos (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 9*Configuración del canal de comunicación de WSOS y equipos NULEC*

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se parametriza el canal de comunicación, como paso inicial para establecer la conexión con el equipo nombrado como “*Playa Blanca*”. A la izquierda usando conexión remota y a la derecha conexión local. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*.

Posterior al establecimiento del medio de comunicación, debe accionarse el mando para establecer comunicación (*Go on-line*), tal como se muestra en la **Figura 10** y la comunicación remota o en sitio queda establecida con el equipo, permitiendo gestionar la parametrización y descarga de datos. Establecida la comunicación y tal como se indica en la **Figura 11**, se activa el menú para descarga de la información histórica mediante el ícono “*History*”, tal cual lo menciona el ingeniero Guzmán es su comunicado (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 10

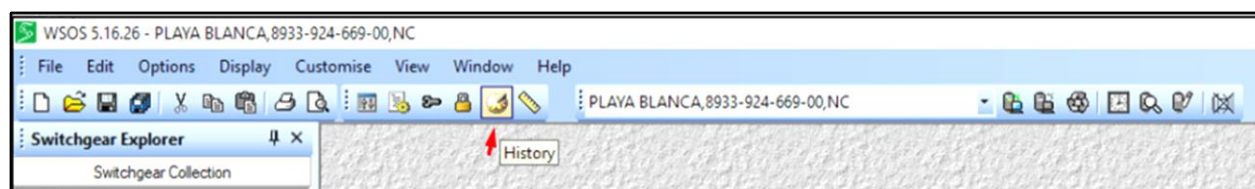
Establecimiento de la comunicación entre el WSOS y el equipo NULEC



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se establece la comunicación con el equipo para modo remoto o local. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*.

Figura 11

Activación de menú de histórico para descarga de datos



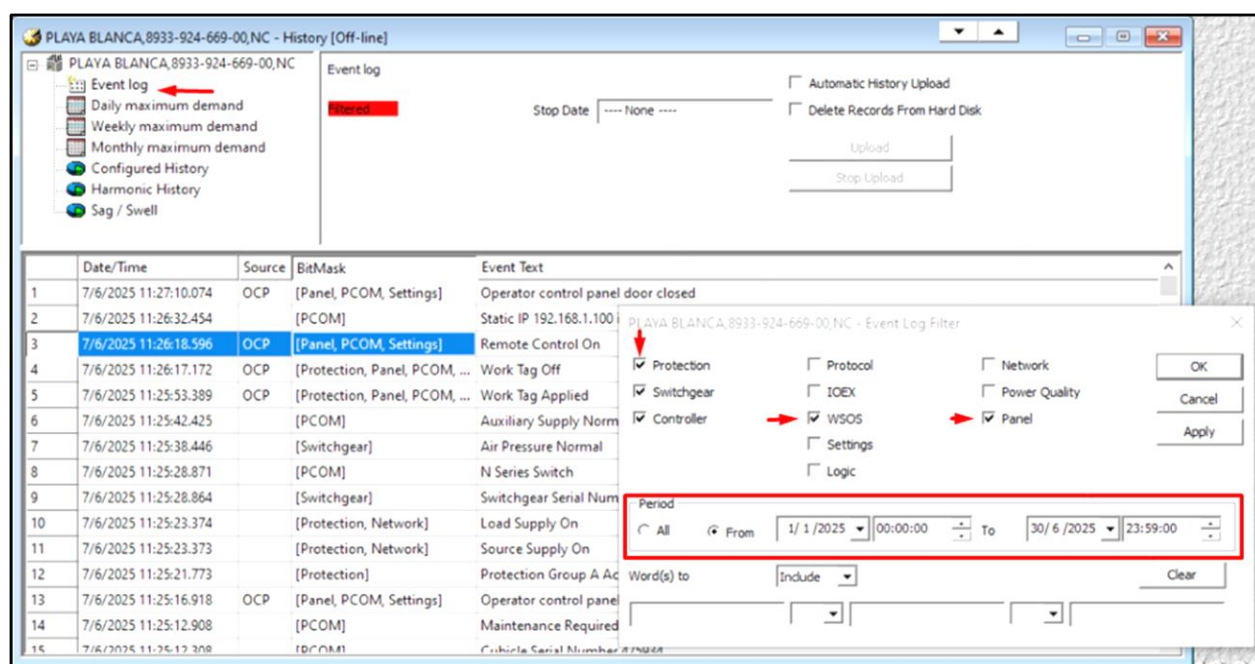
Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se accede al menú de histórico de datos almacenados en el equipo. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*.

La parametrización final para la descarga de datos consiste en definir el periodo de datos a exportar y los grupos de datos de interés. Como se muestra en la **Figura 12**, se selecciona el periodo correspondiente al primer semestre del año 2025 para contar con datos de muestra para efectos de desarrollo de la herramienta. Sin embargo, los datos de interés se centran en el mes de junio del año 2025. Adicionalmente, se seleccionan al menos los datos de protección ("*Protection*"), los cuales contienen información de todos los eventos de falla registrados en el equipo. Otros grupos de datos

pueden seleccionarse, no obstante, no son de interés en esta investigación y solo incrementarían el espacio de almacenamiento (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 12

Menú de histórico para descarga de datos



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se parametriza la interfaz para la descarga de datos, definiendo el periodo y las variables de interés. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*

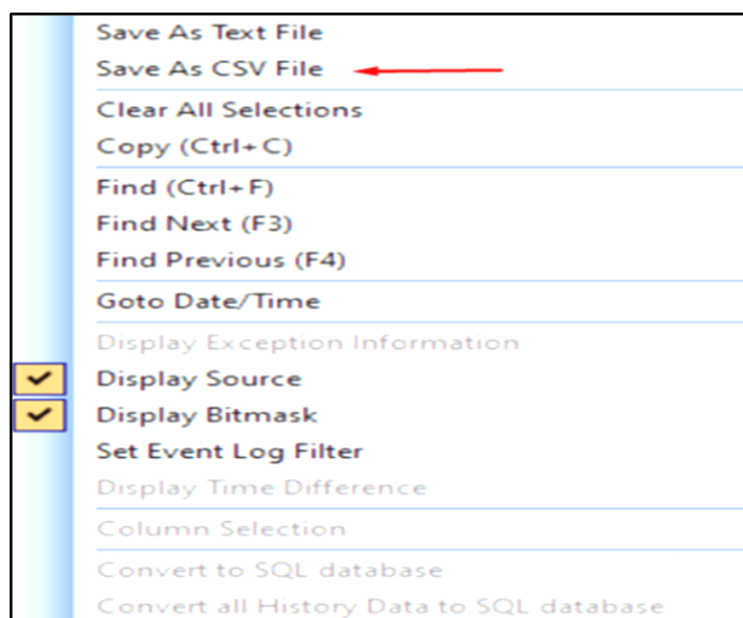
Completada la parametrización de la descarga de datos, se procede con la instrucción de guardar como archivo con formato separado por comas (“*Save As CSV File*”) tal como se indica en la **Figura 13**, manteniendo el directorio y nombre de descarga por defecto. En este punto es importante indicar que la carpeta de descarga por defecto del WSOS es la definida como carpeta de trabajo en la configuración de propiedades del

sistema (“*System Properties*”) (ver **Figura 14**), la cual es residente en la máquina de trabajo.

Esta carpeta de trabajo está sincronizada con una carpeta en Share Point para efectos de compartir datos y permitir la lectura desde diferentes computadoras, manteniendo un único repositorio de datos compartido. El nombre del archivo por defecto es “*EventLog.csv*”, este no cambia y sustituye o sobrescribe al archivo previo cargado para cada equipo (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 13

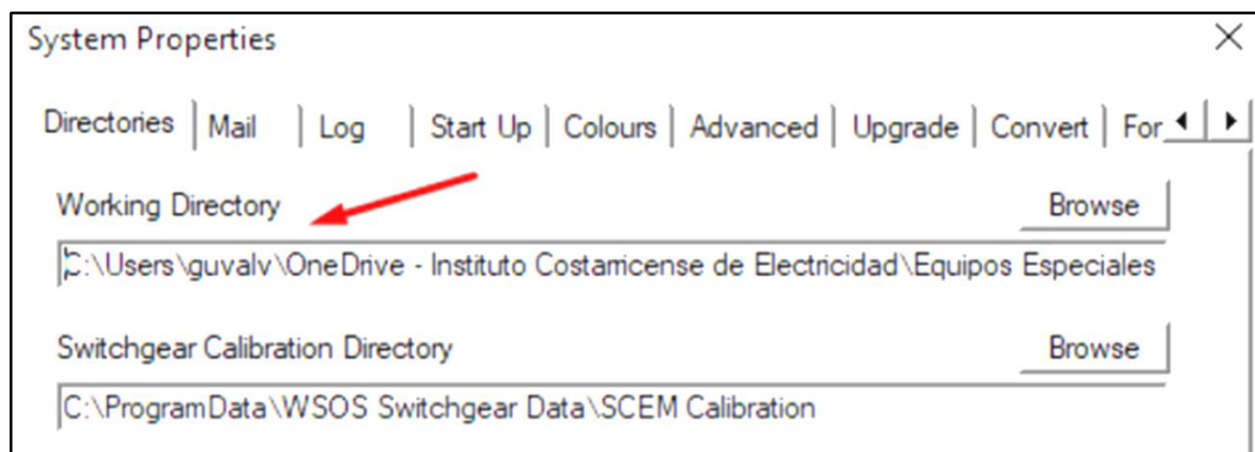
Selección formato para la descarga de datos



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se selecciona el formato de salida para descargar la información histórica almacenada. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*

Figura 14

Directorio de trabajo del WSOS



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del WSOS en donde se selecciona el directorio de trabajo para el almacenamiento de la parametrización y registros históricos de cada equipo. Captura tomada de software *WSOS versión 5.16.26*

Se ha analizado un proceso de descarga de los datos NULEC no complejo, por tanto, la configuración de la conexión se realiza una única vez por equipo. Posteriormente, el WSOS queda configurado para conectarse a cada equipo ya parametrizado. No se evidencia dificultad ni posible fuente de error al exportar los datos, pues se usa el directorio y nombre de archivo por defecto. Sin embargo, sí es imperativa la parametrización correcta del directorio de trabajo en el WSOS y la correspondiente sincronización con la carpeta compartida en la plataforma de SharePoint.

A partir de los análisis realizados, resulta importante destacar que la gestión de descarga de datos es un proceso manual, el cual requiere la conexión, uno a uno, con cada equipo. Durante la sesión, el tiempo estimado de conexión por equipo es de aproximado 1 minuto. Por tanto, es una variable importante para considerar en caso de incorporar gran cantidad de equipos, lo cual podría representar una limitante para

implementar una rutina de actualización con alta frecuencia, tal como lo indica Guzmán en su comunicado (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Según el procedimiento aplicado para la descarga de datos de los equipos NULEC por el personal del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca del ICE, cada vez que, desde el WSOS, se descarga un archivo de un equipo específico, este sustituye al archivo anterior. Por tanto, es importante tenerlo presente al definir el periodo de la información exportada desde el WSOS (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

4.1.1.2. Reconectores NOJA y software CMS

En la misma sesión con Ing. Guzmán, se realiza descarga de los archivos de eventos de los conectores NOJA se efectúa, y de igual forma, la conexión es manual a través del software de gestión CMS, exportando el formato Excel (.xlsx) como formato de salida para los datos de interés. Si observó que el software CMS no ofrece una opción de automatización para este proceso de descarga tal como lo indica Guzmán en su comunicado (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

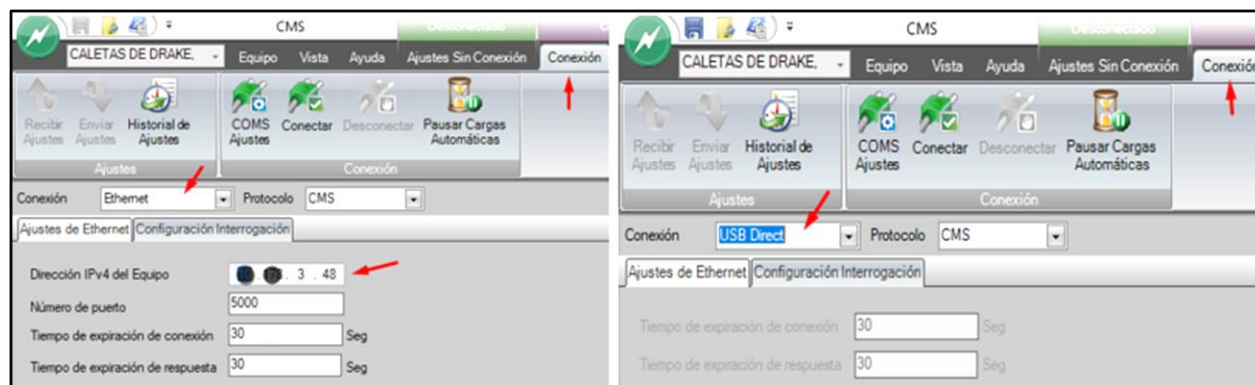
El acceso a los datos de los equipos NOJA se realiza en forma remota por medio de comunicación celular (3G) para el equipo de “*Caletas de Drake*”, único de esta marca en el Circuito Palmar Sur.

De similar forma que el WSOS, la primera acción para realizar la conexión al equipo es la configuración del medio del canal de comunicación, la **Figura 15** evidencia una captura de pantalla del software de gestión CMS, donde se muestra la configuración de la comunicación para conexión celular (TCP/IP) o local usando el puerto USB (cable). En el caso de comunicación celular, debe parametrizarse la dirección IP del modem instalado en el equipo, mientras que, en caso de comunicación directa vía cable y puerto USB, debe identificarse el número de serie, el cual puede también ser autodetectado. Otros medios de comunicación están disponibles en este equipo, como modem, radio y

serial, entre otros, sin embargo, no son utilizados por el personal ICE para la descarga de datos (NULEC, s. f.)

Figura 15

Configuración del canal de comunicación de CMS y equipos NOJA



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del CMS en donde se parametriza el canal de comunicación, como paso inicial para establecer la conexión con el equipo. A la izquierda usando conexión remota y a la derecha conexión local. Captura tomada de software CMS versión 3.16.0.0

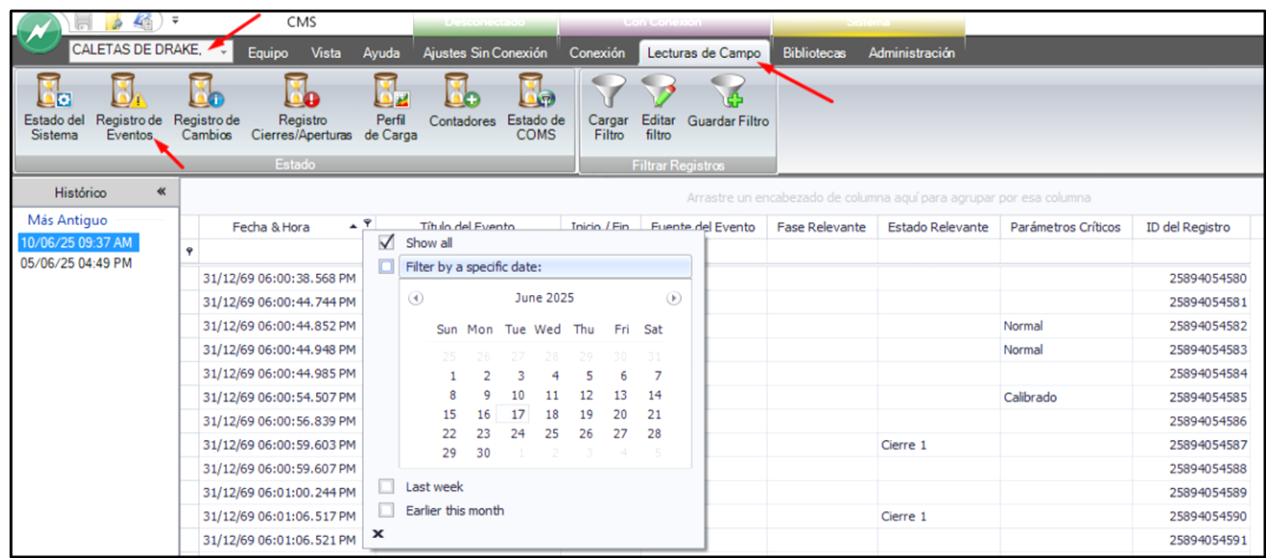
Posterior al establecimiento del medio de comunicación, debe accionarse el mando para establecer comunicación (“*Conectar*”), tal como se muestra en la misma **Figura 15** y la comunicación remota o en sitio queda establecida con el equipo, permitiendo gestionar la parametrización y descarga de datos (NULEC, s. f.)

Establecida la comunicación, tal como se muestra en la **Figura 16**, se activa el menú para descarga de la información histórica mediante el ícono “*Registro de Eventos*”, para posteriormente proceder a aplicar el filtro de fechas de interés también mostrado en la **Figura 16** y, por último, exportar los archivos en formato Excel(.xlsx) como se muestra en la **Figura 17**. El nombre del archivo por exportar mantiene el sugerido por defecto correspondiente al nombre del equipo mismo concatenado con la identificación del tipo de datos “*Registro de Evento*”. La carpeta destino debe seleccionarse a una única carpeta

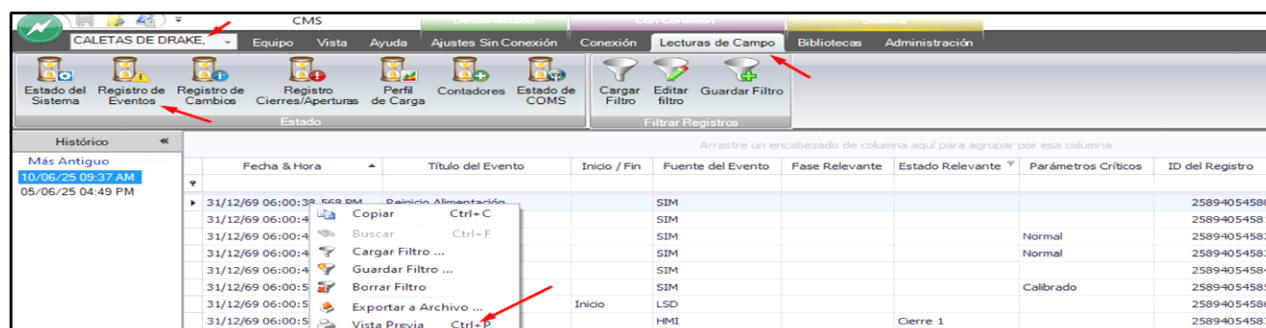
sincronizada con la plataforma de SharePoint (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 16

Acceso al registro de eventos y selector de rango de fechas



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del CMS en donde se parametriza el rango de fechas de los registros de eventos a exportar. Captura tomada de software CMS versión 3.16.0.0

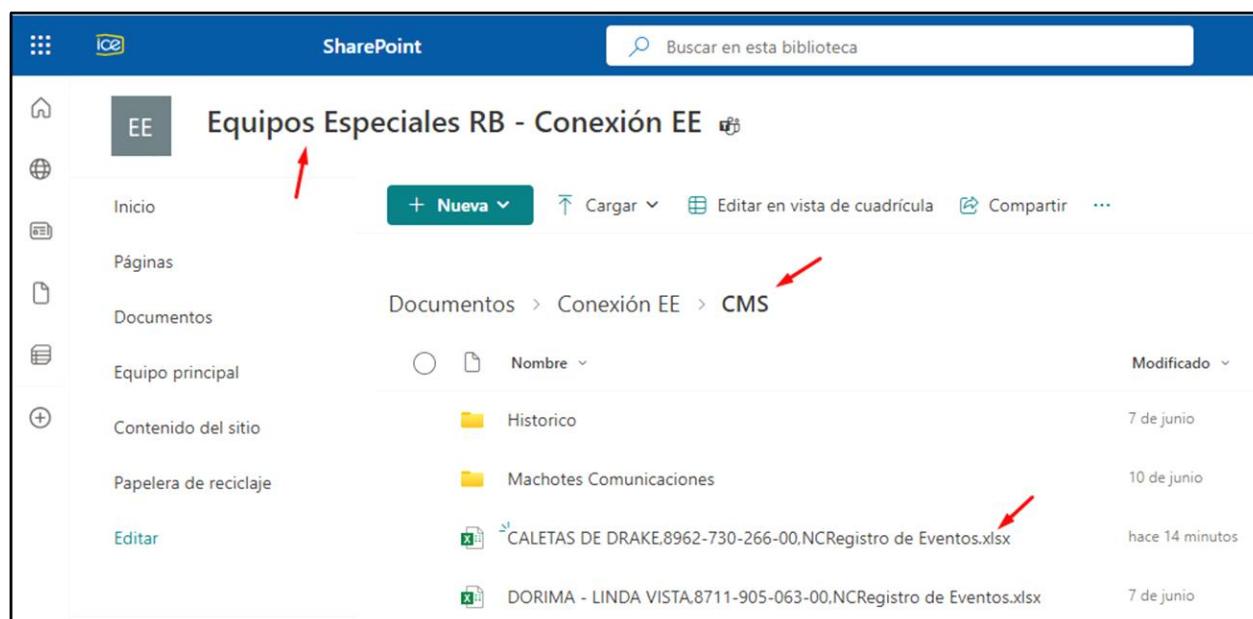
Figura 17*Selección para exportar registro de eventos en CMS*

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de usuario del CMS en donde se genera la exportación de los registros de eventos en formato XLSX. Captura tomada de software CMS versión 3.16.0.0

El sitio compartido en la plataforma SharePoint “*Equipos Especiales RB*”, contiene una subcarpeta llamada “CMS” que aloja los registros de todos los equipos NOJA (ver **Figura 18**). Cada archivo uno identificado por el nombre del equipo del cual se extrajo a información, tal cual lo exporta el software de gestión CMS, como lo indicó Guzmán en su comunicado (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 18

Selección para exportar registro de eventos en CMS



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de SharePoint, en donde se almacena el archivo “Nombre de Equipo.xlsx” que contiene los datos históricos del equipo. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

De similar manera que el NULEC, se analizó un proceso de descarga de los datos NOJA sencillo. La configuración de la conexión se realiza una única vez por equipo, posteriormente el NOJA queda configurado para conectarse a cada equipo ya parametrizado. No se evidencia dificultad ni posible fuente de error al exportar los datos, pues se usa nombre de archivo por defecto. Sin embargo, sí es imperativa la correcta selección de la carpeta de trabajo en el CMS sincronizada con la carpeta compartida en la plataforma de SharePoint (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

La gestión de descarga es un proceso manual que requiere la conexión uno a uno con cada equipo, de igual forma que el WSOS, con tiempos estimados de conexión por

equipos similares. Por tanto, aplica la misma consideración en cuanto a la frecuencia de actualización y uso de recurso humano.

De igual manera que el WSOS, cada vez que se carga un archivo de un equipo, este sustituye al archivo anterior. Por ende, es importante tenerlo presente al definir el periodo de la información exportada desde el CMS.

Después de revisar los procesos de conexión y descarga de datos de las marcas NOJA y NULEC, se concluye que presentan gran similitud y facilidad, sin embargo, mantienen diferentes estructuras de la carpeta y nombre de los archivos exportados con los datos históricos de eventos (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

4.1.2. Formatos y estructura de datos de salida

La revisión de los archivos descargados fue posible por el permiso solicitado y autorizado por el ingeniero M. Guzmán (comunicación personal, 5 de junio de 2025), complementada con las consultas y capturas de pantalla durante la sesión de trabajo del día 13 de junio permitió analizar las siguientes estructuras de datos para los registros de eventos de falla:

4.1.2.1. Archivos .csv de reconector NULEC

La estructura de los archivos generados por WSOS para NULEC corresponde a una estructura de archivo plano. La **Figura 19** muestra un ejemplo del formato del archivo descargado. En este, se evidencia que estos archivos contienen 5 columnas principales tal como se indica en manual del fabricante (NULEC, s. f.) Dichas columnas son detalladas a continuación:

- La primera es la estampa de tiempo, la cual presenta un formato no directamente identificable por Excel y, por lo tanto, requerirá una consideración en la transformación de datos con Power Query.

- La segunda columna afina la estampa de tiempo con milisegundos en un formato de 3 dígitos enteros.
- La fuente del evento se encuentra en la columna 3. Contiene campos vacíos y solo tiene información cuando se ejecuta un mando remoto o local.
- La cuarta columna rotulada como “*BitMask*” define qué tipo de agrupamiento de evento puede aplicarse.
- La quinta y última columna es un texto que detalla el evento ocurrido. El tamaño del texto es variable y puede contener datos numéricos mezclados con caracteres alfabéticos (alfanuméricos). La transformación de datos debe profundizar en el contenido de estos registros para separar y clasificar adecuadamente cada evento.

A partir de la tabla exportada por el software de gestión WSOS, la cual no cumple con un formato estructurado, se debe contemplar la aplicación de una transformación que logre separar los datos en columnas que reflejen, en forma clara, las variables claves como magnitudes de corriente de fallas por fase, operaciones de pickup, disparo y apertura o lockout y tipo de falla con el propósito de generar las visualizaciones requeridas y optimizar la gestión de la coordinación de protecciones y la orientación para de los planes de mantenimiento.

Figura 19

Registros internos de archivo “EventLog.csv” abierto con Excel

A	B	C	D	E
Date/Time	Milli second	Source	BitMask	Event Text
45815,7312	911	[PCOM]		7/6/2025 17:32
45801,8882	88	[Protection]		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 191 A during fault
45801,8882	88	[Protection]		Protection Disk Reset
45801,8882	39	[Protection]		All protection elements resetting
45801,8882	963	[Protection]		Protection Group A Active
45801,8882	963	[Protection]		Pickup Phase A
45801,8882	963	[Protection]		Pickup
45801,8583	783	[Protection]		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 175 A during fault
45801,8583	783	[Protection]		Protection Disk Reset
45801,8583	734	[Protection]		All protection elements resetting
45801,8583	583	[Protection]		Protection Group A Active
45801,8583	583	[Protection]		Pickup Phase A
45801,8583	583	[Protection]		Pickup
45801,8583	213	[Protection]		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 175 A during fault
45801,8583	213	[Protection]		Protection Disk Reset
45801,8583	164	[Protection]		All protection elements resetting
45801,8583	18	[Protection]		Protection Group A Active
45801,8583	18	[Protection]		Pickup Phase A
45801,8583	18	[Protection]		Pickup
45801,7391	358	[Protection]		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 283 A during fault
45801,7391	358	[Protection]		Protection Disk Reset
45801,7391	309	[Protection]		All protection elements resetting
45801,7391	243	[Protection]		Protection Group A Active
45801,7391	243	[Protection]		Pickup Phase A
45801,7391	243	[Protection]		Pickup
45801,7228	548	[Protection]		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 238 A during fault

Nota: La imagen representa una captura de Excel, mostrando el archivo “EventLog.csv” que contiene los datos históricos del reconectador de “Drake”, conformado por 5 columnas. Captura tomada de *Excel Institucional ICE*

4.1.2.2. Archivos .xlsx de reconectador NOJA

La estructura de los archivos generados por CMS para NOJA corresponde a una estructura de archivo plano. La **Figura 20** muestra un ejemplo del formato del archivo descargado. En este, se evidencia que estos archivos contienen 8 columnas principales

tal como se indica en manual del fabricante (NOJA POWER, 2011). Dichas columnas se detallan a continuación:

- La primera es la estampa de tiempo, mostrando un formato de fecha/hora con precisión de milisegundos en la misma columna.
- La segunda columna caracteriza el tipo de evento, mejorando sustancialmente la estructura, comparado con los archivos del WSOS.
- El “Inicio/Fin” de un evento está indicado en la tercera columna, el cual es importante para calcular diferenciales de tiempo. Contiene campos vacíos que deben considerarse.
- La fuente del evento se registra en la cuarta columna, en la cual se utilizan una serie de abreviaturas que deben ser interpretadas correctamente.
- La quinta columna contiene información de la fase relevante durante un evento. Debe contemplarse que tiene espacios vacíos.
- La sexta columna contiene información del estado relevante del interruptor, de igual forma, contiene espacios vacíos.
- La séptima columna contiene parámetros críticos relevantes, como las magnitudes de la corriente de falla entre otros. Al igual que el WSOS, el archivo contiene datos alfanuméricos que deben ser transformados para extraer las variables y magnitudes de interés.
- La última columna es un consecutivo de identificación del registro, con valor no duplicado dentro de un mismo archivo.

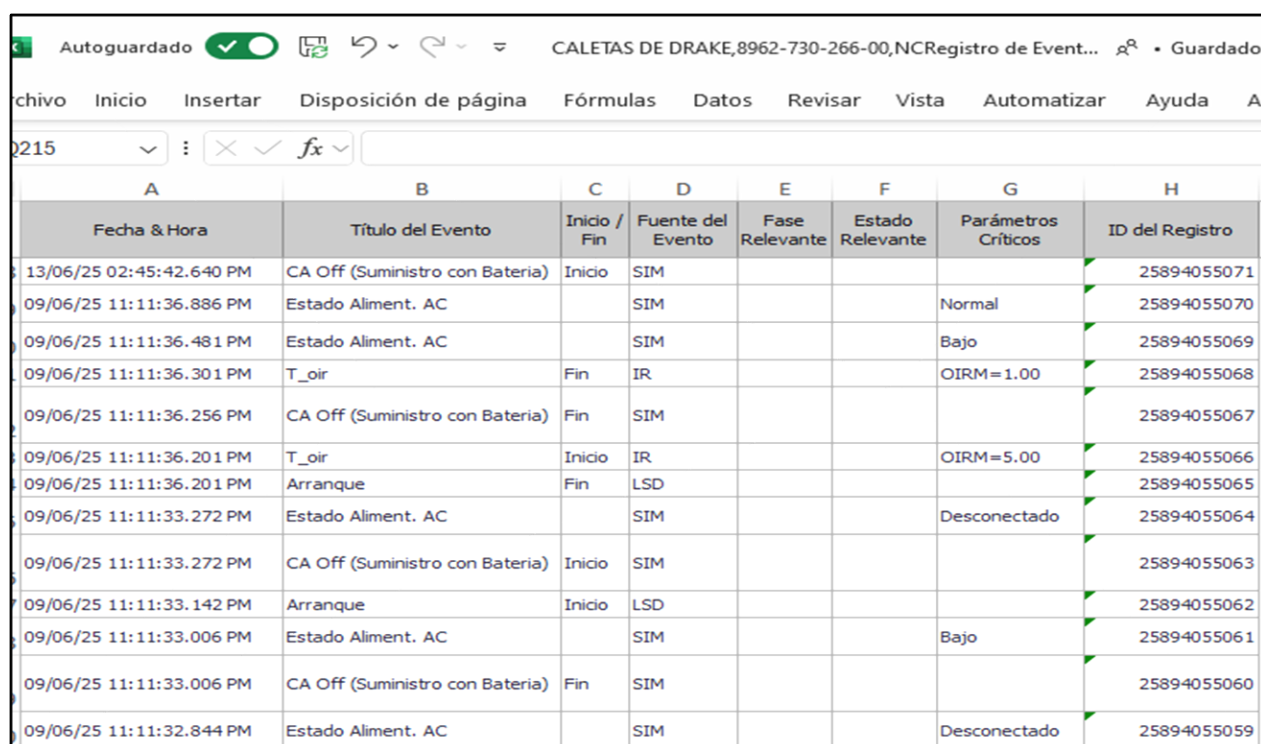
El formato de los datos del CMS presenta una mejoría en la estructuración de datos. Sin embargo, también se debe aplicar una transformación que logre separar los datos en columnas que reflejen, en forma clara, las variables claves como magnitudes de corriente de fallas por fase, operaciones de apertura y cierre de los equipos, tiempos de respuesta ante una falla, entre otros, de igual manera que lo aplicado para el WSOS.

En la revisión de ambos formatos de datos exportados por los softwares de gestión de los reconectadores, se analizó que las estructuras son diferentes. Por tanto,

adicionalmente, la transformación por aplicar a cada uno debe agregarse una transformación para la unificación de los datos en una sola estructura funcional tal como se establece el objetivo 2 de esta investigación y cuyo esquema se adjunta en el **Apéndice C: Plantilla de datos unificada para eventos de falla**.

Figura 20

Registros internos de archivo “Caletas de Drake.xlsx” abierto con Excel



A	B	C	D	E	F	G	H
Fecha & Hora	Título del Evento	Inicio / Fin	Fuente del Evento	Fase Relevante	Estado Relevante	Parámetros Críticos	ID del Registro
13/06/25 02:45:42.640 PM	CA Off (Suministro con Bateria)	Inicio	SIM				25894055071
09/06/25 11:11:36.886 PM	Estado Aliment. AC		SIM			Normal	25894055070
09/06/25 11:11:36.481 PM	Estado Aliment. AC		SIM			Bajo	25894055069
09/06/25 11:11:36.301 PM	T_oir	Fin	IR			OIRM=1.00	25894055068
09/06/25 11:11:36.256 PM	CA Off (Suministro con Bateria)	Fin	SIM				25894055067
09/06/25 11:11:36.201 PM	T_oir	Inicio	IR			OIRM=5.00	25894055066
09/06/25 11:11:36.201 PM	Arranque	Fin	LSD				25894055065
09/06/25 11:11:33.272 PM	Estado Aliment. AC		SIM			Desconectado	25894055064
09/06/25 11:11:33.272 PM	CA Off (Suministro con Bateria)	Inicio	SIM				25894055063
09/06/25 11:11:33.142 PM	Arranque	Inicio	LSD				25894055062
09/06/25 11:11:33.006 PM	Estado Aliment. AC		SIM			Bajo	25894055061
09/06/25 11:11:33.006 PM	CA Off (Suministro con Bateria)	Fin	SIM				25894055060
09/06/25 11:11:32.844 PM	Estado Aliment. AC		SIM			Desconectado	25894055059

Nota: La imagen representa una captura de Excel, mostrando el archivo “*Caletas de Drake.xlsx*” que contiene los datos históricos del equipo, conformado por 8 columnas. Captura tomada de *Excel Institucional ICE*

4.1.3. Proceso de almacenamiento de datos en el ICE

Una vez descargados, los archivos de registros de eventos se almacenan en una carpeta designada en SharePoint Institucional. Se verifica que los archivos exportados

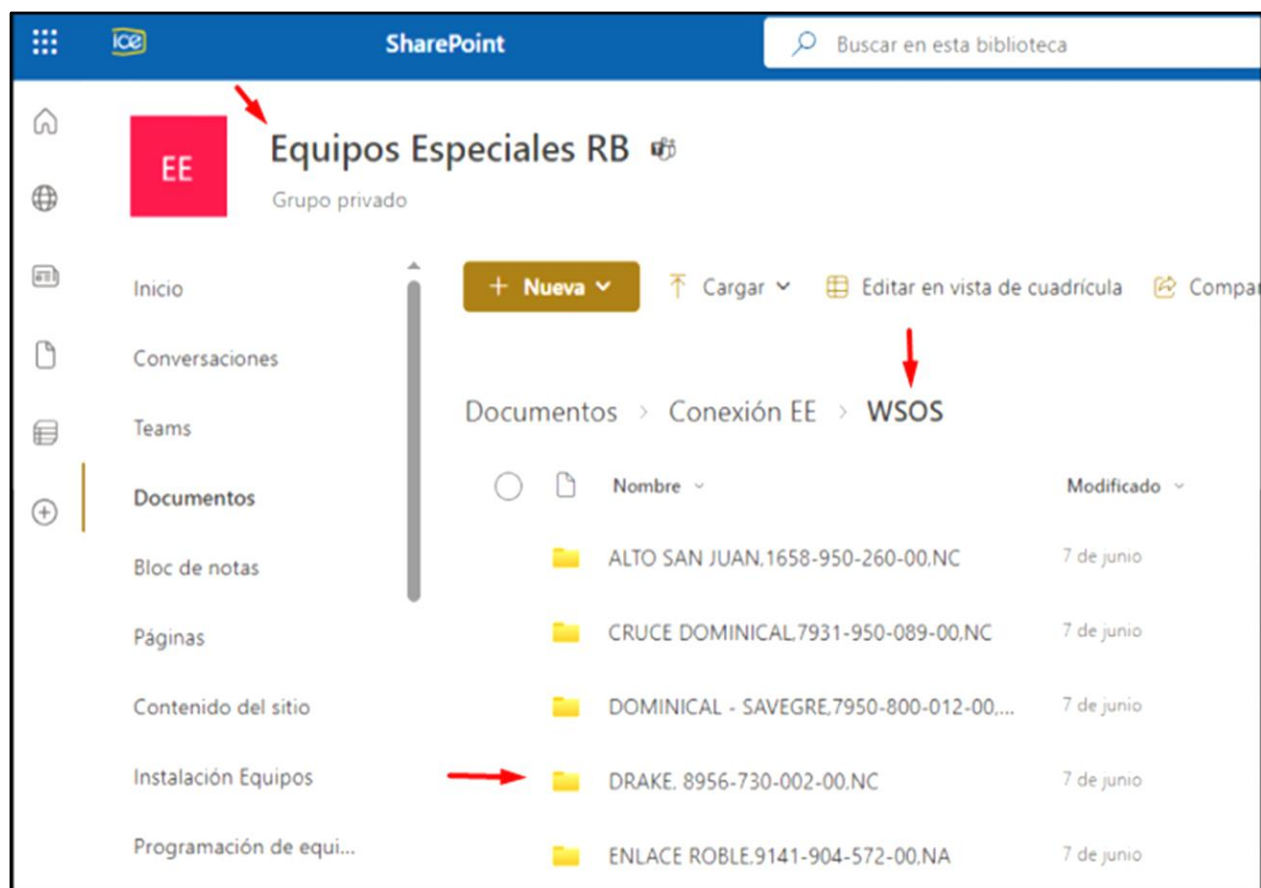
por el software de gestión WSOS se organizan en carpetas por equipo (cada carpeta es nombrada de igual forma que el equipo), alojando el archivo de datos históricos “*EventLog.csv*” correspondiente. Además, se verifica que, por su parte, los archivos exportados por el software de gestión CMS se ubiquen en una única carpeta y su nombre corresponda al del equipo instalado tal como lo informa Guzmán en su comunicado (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

4.1.3.1. Reconectores NULEC y el software WSOS

En la revisión del sitio compartido en la plataforma de SharePoint para almacenar los datos históricos de los equipos reconectores, se visualizó la carpeta denominada “*Equipos Especiales RB*”, la cual contiene una subcarpeta llamada “*WSOS*” que aloja los registros de los equipos NULEC dentro de su respectiva subcarpeta (ver **Figura 21**). Esta subcarpeta también aloja el archivo nombrado por defecto como “*EventLog.csv*”, que contiene el histórico de los registros de eventos exportados desde el software de gestión WSOS (ver **Figura 22**) (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 21

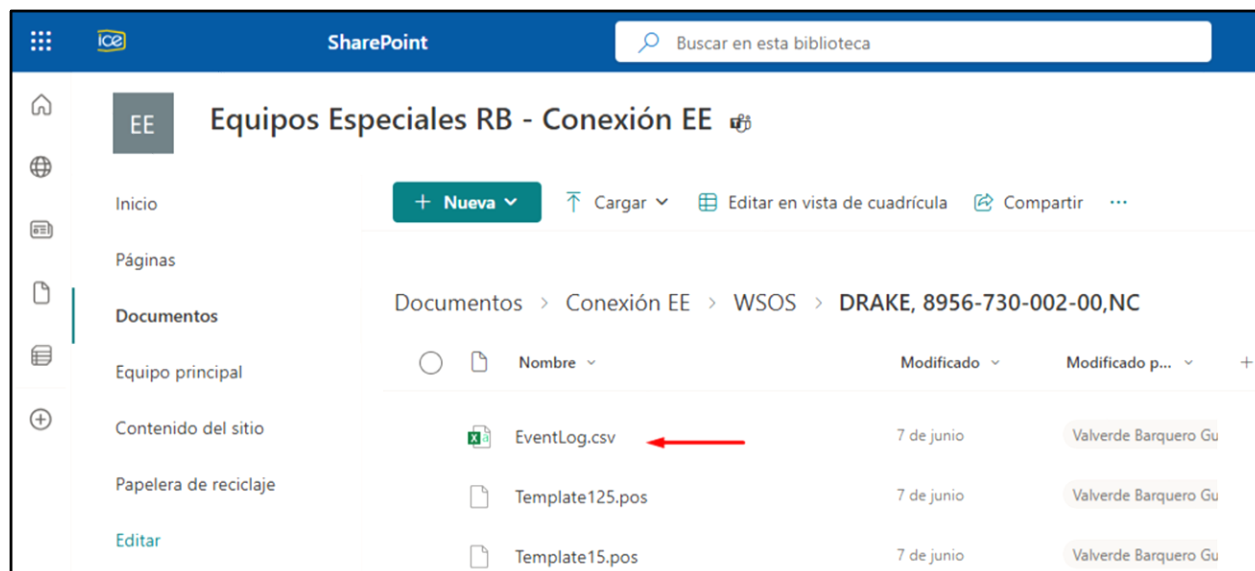
Carpeta de trabajo del WSOS compartida en SharePoint



Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de SharePoint, en donde se crean las subcarpetas para el almacenamiento de la parametrización y registros históricos de cada equipo NULEC. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

Figura 22

Directorio de trabajo del WSOS

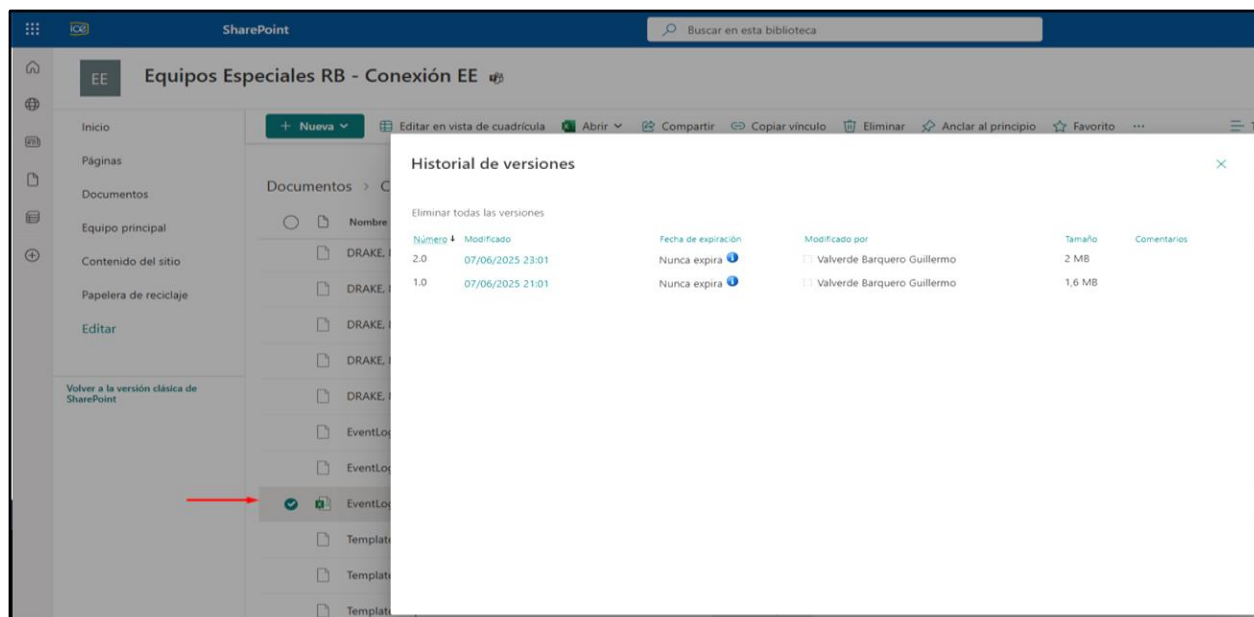


Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de SharePoint, en donde se almacena el archivo “*EventLog.csv*” que contiene los datos históricos del equipo específico NULEC Identificado como “*Drake*”. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

La plataforma SharePoint realiza efectivamente una versión de respaldo del archivo cada vez que se modifica, lo cual posibilita la recuperación en caso de errores o pérdida de datos. Para ello, se almacena un consecutivo de versión y la estampa de tiempo de esta (ver **Figura 23**) (M. Guzmán Víquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 23

Historial de versiones de la plataforma SharePoint



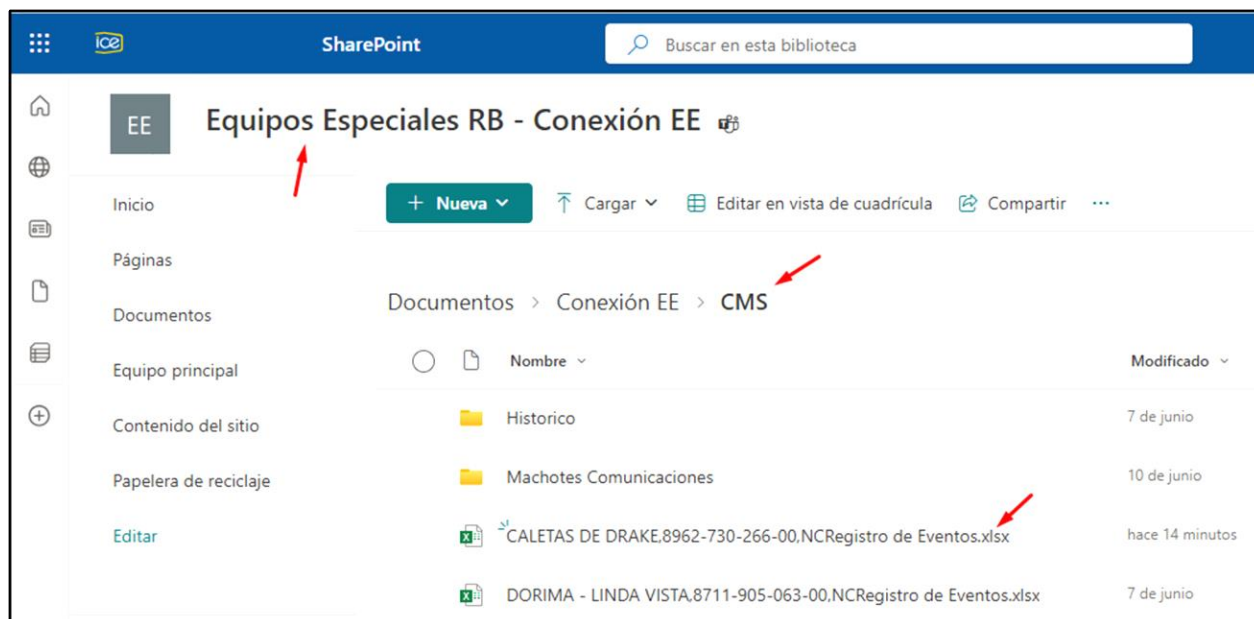
Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de SharePoint, mostrando el efectivo versionamiento del archivo “*EventLog.csv*” que contiene los datos históricos del equipo específico NULEC Identificado como “*Drake*”. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

4.1.3.2. Reconectores NOJA y el software CMS

En el sitio compartido en la plataforma SharePoint “*Equipos Especiales RB*”, se verifica que contiene una subcarpeta llamada “*CMS*” que aloja los registros de todos los equipos NOJA (ver **Figura 24**). Cada archivo identificado por el nombre del equipo de donde se extrajo la información tal cual lo exporta el software de gestión CMS.

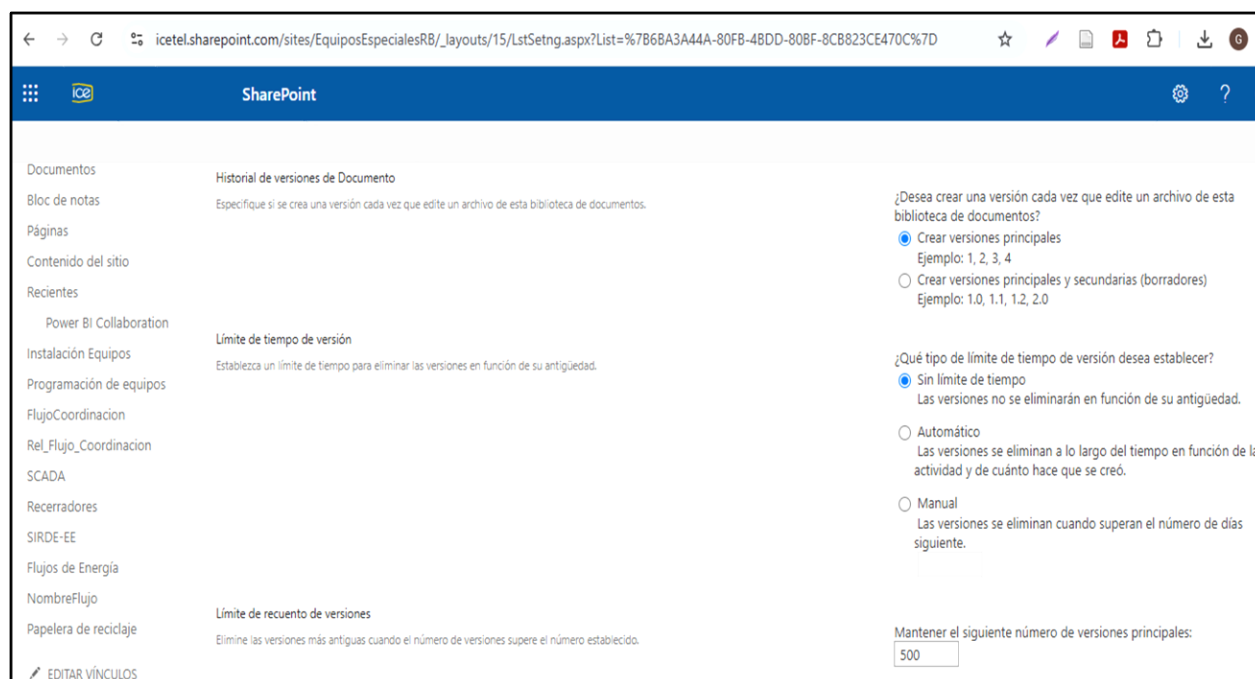
Figura 24

Almacenamiento de registros de eventos de CMS en SharePoint



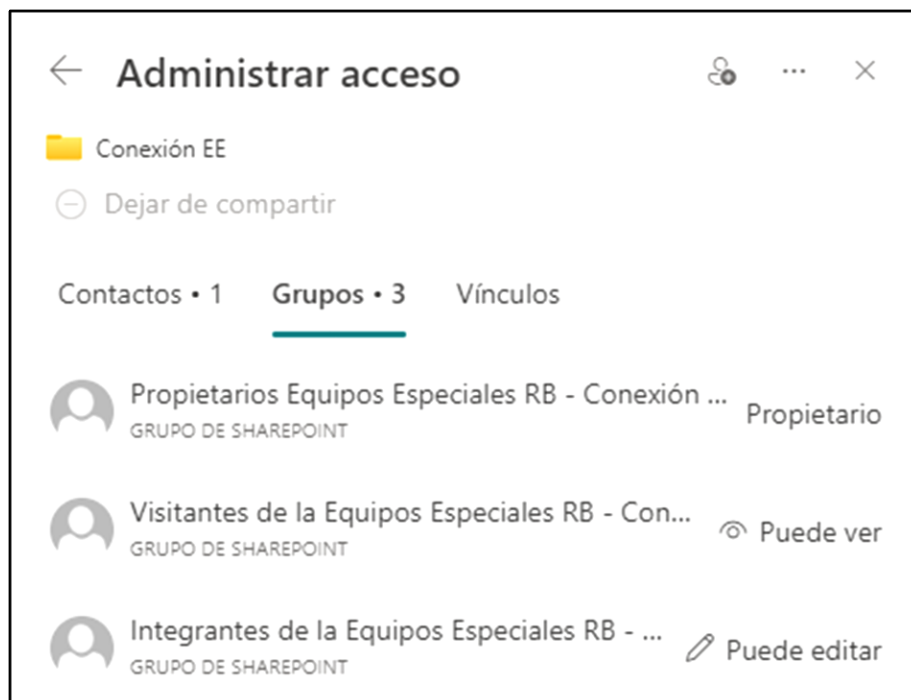
Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de SharePoint, en donde se almacena el archivo “Nombre de Equipo.xlsx” que contiene los datos históricos del equipo. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

De igual manera que el WSOS, cada vez que se carga un archivo de un equipo, se genera una versión nueva ejecutada en forma automática por la plataforma SharePoint. Dicha acción es fundamental para la recuperación en caso de pérdida o deterioro de datos. Se pudo analizar que la configuración del versionamiento se mantiene por defecto, lo cual implica 500 versiones por archivo y sin tiempo límite para eliminarlas (Maggierui, s. f.) (ver **Figura 25**)

Figura 25*Configuración de historial de versiones de SharePoint*

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de configuración de SharePoint, en donde se establece la cantidad y el tiempo de permanencia de las versiones. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

SharePoint también ofrece la administración segura de permisos de acceso con los perfiles de lectura y escritura según se requiera (ver **Figura 26**). Además, se observa que las carpetas administradas por el Área de Equipos Especiales de la Región Brunca cuentan con accesos restringidos por grupos a personal calificado y responsable de cada proceso (M. Guzmán Viquez, comunicación personal, 5 de junio de 2025).

Figura 26*Administración de acceso de carpetas en SharePoint*

Nota: La imagen representa una captura de la interfaz de configuración de SharePoint, en donde se muestra la interfaz de administración de acceso a la carpeta “*Conexión EE*” donde se almacenan los registros alojados provenientes de los equipos de protección. Captura tomada de *Plataforma SharePoint Institucional ICE*

Para el desarrollo de las siguientes etapas, se requiere acceso de lectura a las carpetas ya administradas por el personal del Área de Equipos Especiales de la Región Brunca. Una vez cargados los modelos de datos y publicados los *dashboard*, la publicación no requiere permiso a estas carpetas, pues la información ya estará cargada en el modelo de datos de Power Bi (*Introducción a Power BI Desktop*, 2023).

4.2. Resultados del objetivo 2: Diseñar e implementar un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos de múltiples equipos de protección, garantizando su consistencia y accesibilidad

Este apartado presenta los resultados obtenidos de la fase de preparación y unificación de datos, cuyo propósito fue transformar los registros de eventos de falla de los reconectores NULEC y NOJA (obtenidos en formatos CSV y XLSX) en un modelo de datos unificado y estructurado en forma consistente y accesible. Esta fase fue fundamental para consolidar la información heterogénea y prepararla para su análisis y visualización, cumpliendo así con el objetivo 2 de esta investigación. La integración se realizó utilizando la herramienta de inteligencia de negocio Power BI y su componente ETL Power Query.

4.2.1. Proceso de importación y limpieza inicial de datos

Los archivos de registros de eventos descargados de los softwares WSOS de NULEC (en formato CSV) y CMS de NOJA (en formato XLSX) y almacenados en SharePoint Institucional fueron el punto de partida para la integración.

4.2.1.1. Importación a Power Query

Los archivos fueron importados al entorno de Power Query, estableciendo conexiones directas a la carpeta de SharePoint que aloja los datos. Esto permitió automatizar la carga de nuevos archivos sin requerir una reimportación manual individual (*Introducción a Power BI Desktop*, 2023). En la **Figura 27**, se muestra la exitosa conexión realizada con los archivos de los equipos NOJA. Por otra parte, la **Figura 28** muestra la conexión también exitosa con los archivos NULEC.

Figura 27

Script y resultado de la conexión a archivo de la Marca NOJA

Consultas [10]	<pre> 1 let 2 Origen = SharePoint.Files("https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE", [ApiVersion = 15]), 3 #"Filtrar la carpetas, nombre y extensión de datos NULEC" = Table.SelectRows(Origen, each [Extension] = ".xlsx" and Text. Contains([Folder Path], "https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/CMS/") and Text.Contains([Name], "Registro de Eventos") and not Text.Contains([Folder Path], "Historico")), 4 #"Filas filtradas 1" = Table.SelectRows(#"Filtrar la carpetas, nombre y extensión de datos NULEC", each ([Name] = "CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-00,NCRegistro de Eventos.xlsx")), </pre>									
	Content	Name	Extension	Date accessed	Date modified	Date created				
1	[Binary]	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-00,NCRegistro de Eventos...	.xlsx	null	2/7/2025, 12:02:34	17/6/2025, 18:42:04				

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la extracción de los archivos XLSX de los equipos marca NOJA. Captura tomada de *Power Query*

Figura 28

Script y resultado de la conexión a archivo de la marca NULEC

Consultas [10]	<pre> 1 let 2 Origen = SharePoint.Files("https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE", [ApiVersion = 15]), 3 #"Filtrar la carpetas, nombre y extensión de datos NULEC" = Table.SelectRows(Origen, each [Extension] = ".csv" and Text.Contains([Folder Path], "https:// icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/") and [Name] = "EventLog.csv" and not Text.Contains </pre>									
	Content	Name	Extension	Folder Path						
1	[Binary]	EventLog.csv	.csv	https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/SAN JUAN PALMAR SUR,8956-92...						
2	[Binary]	EventLog.csv	.csv	https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/SIERPE - SAN JUAN,2249-924-24...						
3	[Binary]	EventLog.csv	.csv	https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/PLAYA BLANCA,8933-924-669-00...						
4	[Binary]	EventLog.csv	.csv	https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/PALMAR SUR,2240-924-014-00,N...						
5	[Binary]	EventLog.csv	.csv	https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/WSOS/DRAKE, 8956-730-002-00,NC/						

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la extracción de los archivos EventLog.csv de los diferentes equipos marca NULEC. Captura tomada de *Power Query*

4.2.1.2. Limpieza y validación

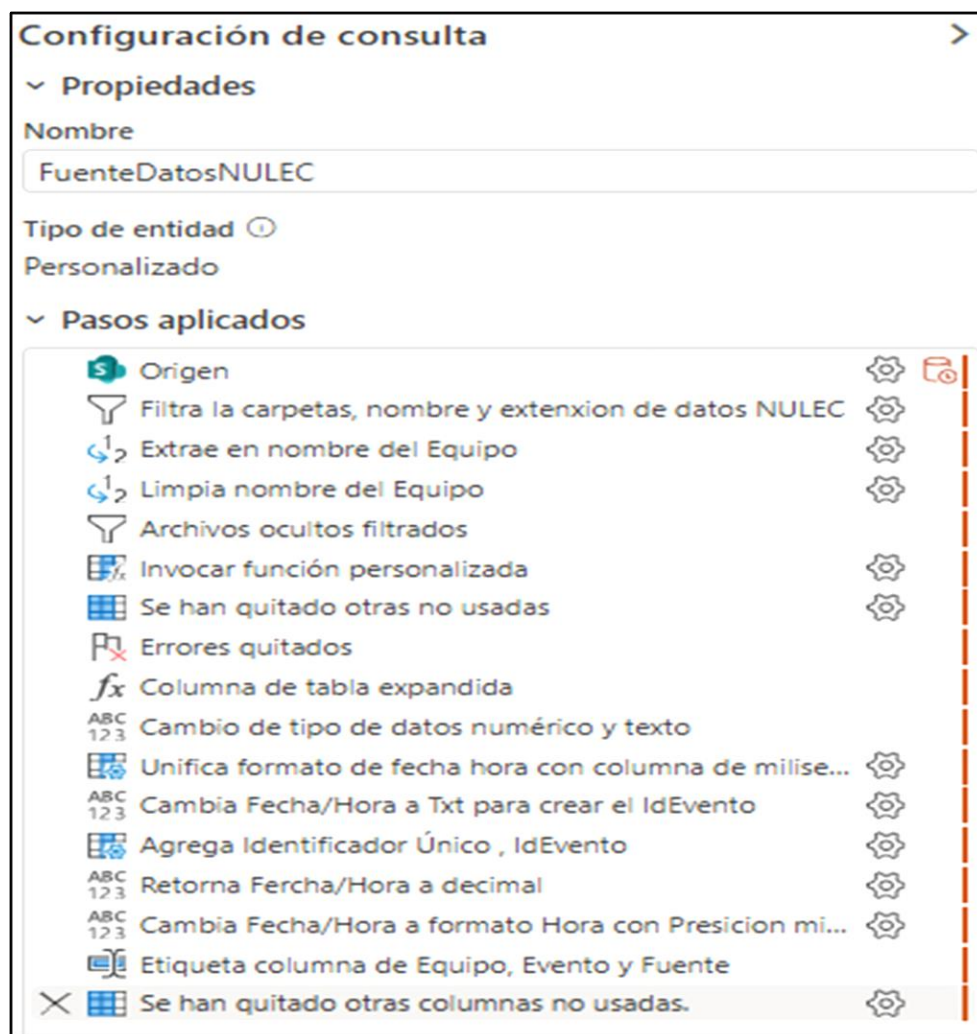
En forma separada y para ambas estructuras y formatos de datos (.CSV y .XLSX) correspondientes a ambas marcas de equipos de protección respectivamente (NULEC y NOJA), se realizó una limpieza inicial para abordar las inconsistencias identificadas en la fase previa de análisis. Los pasos de limpieza incluyeron las siguientes acciones:

- Identificación y corrección de errores básicos en los valores de datos, entre ellos, valores nulos y formatos de campos.
- Manejo de valores atípicos evidentes que pudieran distorsionar el análisis.
- Filtrado de registros no requeridos.
- Detección y eliminación de valores duplicados que pudieran generar conteos erróneos.
- Verificación de la correcta estampa de tiempo de los eventos, asegurando su precisión y formato uniforme.

Los pasos efectuados en el proceso de limpieza y validación del archivo correspondiente a los equipos NULEC se muestran en la **Figura 29**, mientras que los pasos correspondientes a proceso aplicado a los archivos de los equipos NOJA se evidencian en la **Figura 30**. Los respectivos *scripts* de ambos procesos se anexan en el **Apéndice E: Script de transformación de datos**”.

Figura 29

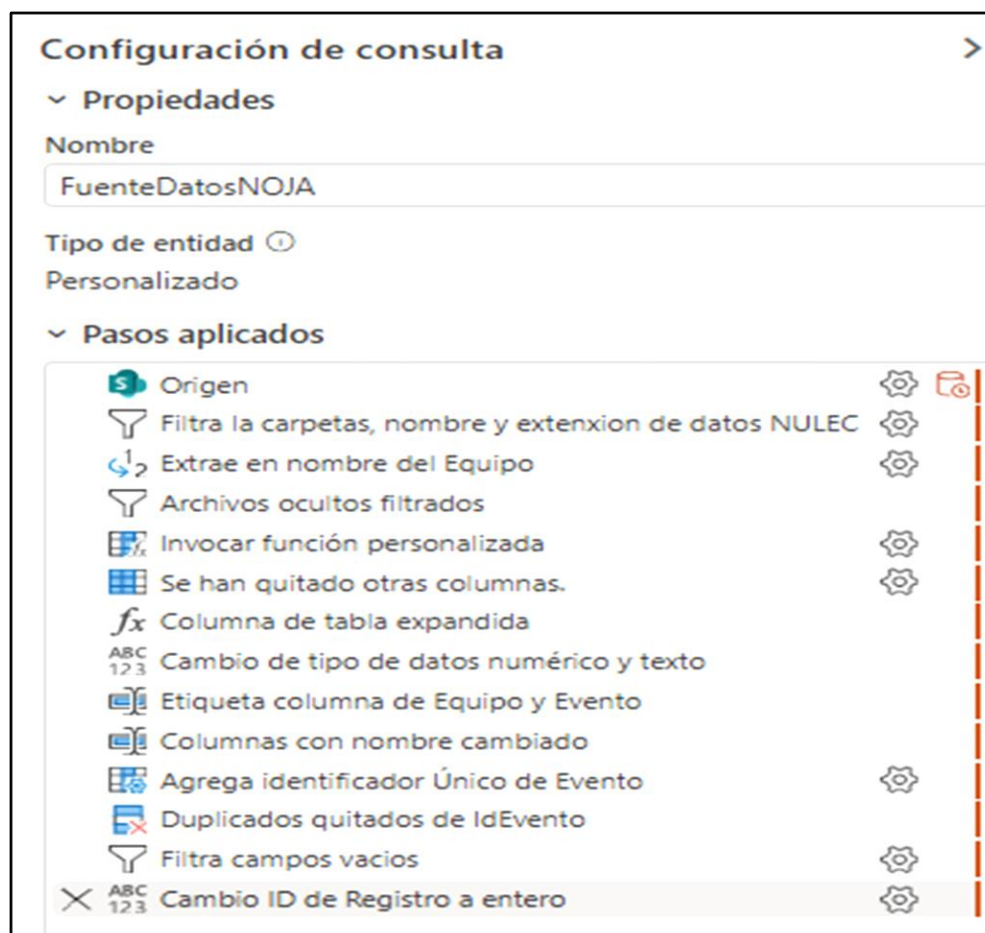
Secuencia de pasos aplicados en Power Query para Archivos CSV de NULEC



Nota: La imagen representa una captura de los pasos aplicados para la limpieza de los archivos generados por los equipos marca NULEC. Captura tomada de *Power Query*

Figura 30

Secuencia de pasos aplicados en Power Query para archivos XLSX de NOJA



Nota: La imagen representa una captura de los pasos aplicados para la limpieza de los archivos generados por los equipos marca NOJA. Captura tomada de *Power Query*

La estructura de datos resultante después de la preparación previa de datos con la limpieza y validación para los archivos de marca NULEC se muestra en la **Figura 31**, mientras que los de la marca NOJA en la **Figura 32**.

Figura 31

Estructura de datos resultante después de limpieza y validación (NULEC)

	Date created	Equipo	F...	Evento	Fecha/Hora
644	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase C - Maximum Current of 64 A ...	15/6/2025, 19:45:39
645	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase B - Maximum Current of 238 A...	15/6/2025, 19:45:39
646	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 62 A ...	15/6/2025, 19:45:39
647	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection Disk Reset	15/6/2025, 19:45:39
648	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		All protection elements resetting	15/6/2025, 19:45:39
649	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection Group A Active	15/6/2025, 19:45:39
650	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Pickup Earth	15/6/2025, 19:45:39
651	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Pickup	15/6/2025, 19:45:39
652	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Earth Maximum Current of 412 A duri...	15/6/2025, 19:45:39
653	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase C - Maximum Current of 81 A ...	15/6/2025, 19:45:39
654	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase B - Maximum Current of 323 A...	15/6/2025, 19:45:39
655	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Current at maximum Phase A - Maximum Current of 64 A ...	15/6/2025, 19:45:39
656	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection Disk Reset	15/6/2025, 19:45:39
657	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		All protection elements resetting	15/6/2025, 19:45:38
658	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection element timing	15/6/2025, 19:45:38
659	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		All protection elements resetting	15/6/2025, 19:45:38
660	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection element timing	15/6/2025, 19:45:38
661	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		All protection elements resetting	15/6/2025, 19:45:38
662	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection element timing	15/6/2025, 19:45:38
663	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		All protection elements resetting	15/6/2025, 19:45:38
664	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Protection Group A Active	15/6/2025, 19:45:38
665	7/6/2025, 23:48:03	SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511...		Pickup Phase B	15/6/2025, 19:45:38

Nota: La imagen representa la estructura resultante posterior a la limpieza y validación previa de los datos de los equipos NULEC. Captura tomada de *Power Query*

Figura 32

Estructura de datos resultante después de limpieza y validación (NOJA)

	AB Equipo	D...	Fecha/Hora	AB Evento	AB Inici...	AB Fuente	AB Fase...	AB E...	AB Parámetros Críticos
123	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	AR Iniciado		AR		Abierto 2	Tr, s= 1.00
124	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	OSM Abierto		SIM			
125	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Arranque	Inicio	LSD			
126	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Arranque	Fin	OC2+	A		Max(Ia), A=219
127	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Arranque	Fin	OC1+	A		Max(Ia), A=219
128	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Disparo		Protección			
129	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Operación de Protección		OC2+	A		
130	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Arranque	Inicio	OC2+	A		Iop, A=80
131	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	19/6/2025, 1:53:04	Arranque	Inicio	OC1+	A		Iop, A=80
132	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	17/6/2025, 20:07:30	Estado Aliment. AC		SIM			Normal
133	CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-0...	17/6/202...	17/6/2025, 20:07:29	Estado Aliment. AC		SIM			Bajo

Nota: La imagen representa la estructura resultante posterior a la limpieza y validación previa de los datos de los equipos NOJA. Captura tomada de *Power Query*.

4.2.2. Transformación y unificación de variables claves

Una vez limpios los datos de cada marca de equipo, se aplicaron transformaciones específicas en Power Query para unificar las variables clave de ambas marcas, logrando una estructura de datos homogénea y coherente. Los scripts de estas transformaciones incluyen en el **Apéndice E: Script de transformación de datos**".

4.2.2.1. Normalización de estampa de tiempo del evento

Uno de los desafíos enfrentados fue la estampa de tiempo, pues los archivos NULEC presentaban un formato de estampa de tiempo no directamente identificable por Power Query con los milisegundos en una columna separada. Por su parte, los archivos NOJA, aunque contenían la fecha y hora con milisegundos en una sola columna, requerían transformación de formato para asegurar su correcta interpretación en el modelo de datos. La **Figura 33** muestra la columna resultante unificada con los datos de la estampa de tiempo y validada para ambas marcas de equipos (NULEC y NOJA).

Figura 33

Estructura de la columna unificada de estampa de tiempo

Fecha/Hora	Fecha/Hora_Original
Valid 100 %	Valid 100 %
Error 0 %	Error 0 %
Empty 0 %	Empty 0 %
13/6/2025 10:57:43	45821,456750995385
13/6/2025 10:57:43	45821,456750995385
13/6/2025 10:57:43	45821,456750995385
13/6/2025 10:57:43	45821,456750995385
12/6/2025 16:57:29	45820,706590740694
12/6/2025 16:57:29	45820,706590740694
12/6/2025 16:57:29	45820,706590740694
12/6/2025 16:57:29	45820,706590740694
9/6/2025 21:07:49	45817,88042972218
9/6/2025 21:07:49	45817,88042972218
9/6/2025 21:07:49	45817,88042972218
9/6/2025 21:07:49	45817,88042972218
9/6/2025 18:44:03	45817,780597916688
9/6/2025 18:44:03	45817,780597916688
9/6/2025 18:44:03	45817,780597916688
9/6/2025 18:44:03	45817,780597916688
8/6/2025 17:59:55	45816,749949513862
8/6/2025 17:59:55	45816,749949513862

Nota: La imagen representa la estructura resultante posterior a la unificación de los datos de ambas marcas de equipos (NULEC y NOJA). Captura tomada de *Power Query*

4.2.2.2. Unificación de corriente de falla: magnitud por fase y neutro

Otro de los grandes desafíos enfrentados fue la extracción de la información numérica desde los campos alfanuméricos de los archivos NULEC y NOJA. Para ello, se utilizaron funciones de Power Query de manipulación de texto que extraen esos valores numéricos al separar los valores numéricos de las corrientes por fase (R, S, T) y neutro en columnas individuales, lo cual asegura que todas las magnitudes estuvieran en amperios y con un formato numérico uniforme, por tanto, descartando valores faltantes o nulos. La **Figura 34** muestra la estructura unificada y validada de las columnas generadas con datos extraídos de campos textuales de ambas marcas de equipos (NULEC y NOJA). Las columnas contienen los datos de la fase que registra la corriente de falla, la magnitud de la corriente de falla y su unidad (amperios).

Figura 34

Estructura de la columna fase, magnitud y unidad, unificada y validada

	A ^B _C Fase	1.2 Magnitud	A ^B _C Unidad
	Valid 100 % Error 0 % Empty 0 %	Valid 100 % Error 0 % Empty 0 %	Valid 100 % Error 0 % Empty 0 %
137	C		64 A
138	A		84 A
139	Tierra		372 A
140	B		434 A
141	Tierra		1012 A
142	B		64 A
143	C		1057 A
144	A		75 A
145	B		507 A
146	A		85 A
147	C		63 A
148	Tierra		454 A
149	A		101 A
150	B		638 A
151	C		650 A

Nota: La imagen representa las columnas validadas de la “Fase” y “Magnitud” de la corriente de falla y la “Unidad” respectiva, resultantes de la unificación de los datos de ambas marcas de equipos (NULEC y NOJA). Captura tomada de *Power Query*

4.2.2.3. Categorización y unificación de tipo de evento

Las descripciones del tipo evento en ambas marcas se registran en campos textuales con nomenclatura diferente y concatenados con otros datos. Para extraer el tipo de evento de interés, se aplicaron transformaciones de texto y lógica condicional en Power Query para categorizar las descripciones de eventos en una nomenclatura unificada y estandarizada, obteniéndose tres tipos de eventos principales (ver **Figura 35**):

- I Pickup: esta representa el tipo de evento en donde la corriente pasante por el equipo de protección supera el valor máximo preestablecido en la configuración de la

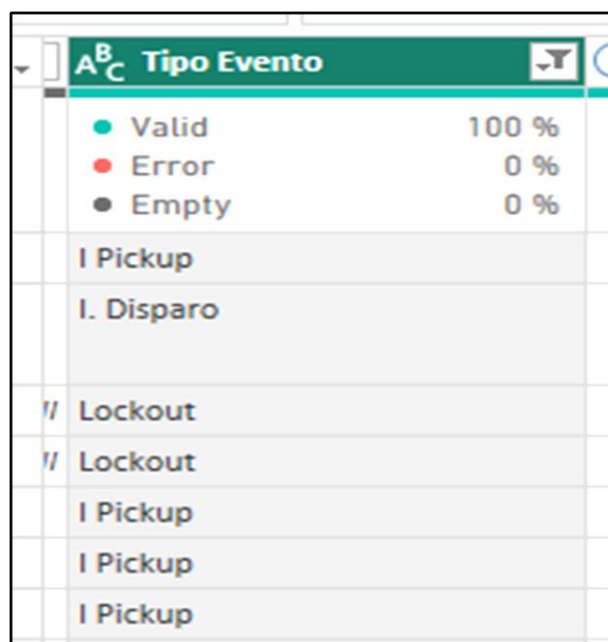
protección, lo que indicaría una condición de falla. Por sí solo, este tipo de evento es percibido como supresión o bajonazo momentáneo en la tensión, sin llegar a interrumpirse el fluido eléctrico (NOJA POWER, 2022; NULEC, s. f.)

- I Disparo: representa el tipo de evento en donde la presencia de una corriente pasante supera el valor preestablecido, permaneciendo la condición de falla por el periodo de tiempo superior al preestablecido en la configuración de la protección, lo que implica una apertura momentánea del equipo de protección en su intento de despejar la falla presentada. Esta condición es percibida como un corte o ausencia temporal del fluido eléctrico (NOJA POWER, 2022; NULEC, s. f.)
- Lockout: representa el tipo de evento en donde la condición de falla persiste, no lográndose despejar mediante cortes temporales y por tanto desconectando permanentemente el fluido eléctrico. Esta condición es percibida como un corte permanente del fluido eléctrico, el cual es restablecido hasta que exista una instrucción de restablecimiento externa (NOJA POWER, 2022; NULEC, s. f.)

Dicha categorización permitió una estructura consistente para el análisis posterior.

Figura 35

Categorización del tipo de evento, I Pickup, I Falla y Lockout



A	B	C	Tipo Evento
			Valid 100 %
			Error 0 %
			Empty 0 %
			I Pickup
			I. Disparo
			// Lockout
			// Lockout
			I Pickup
			I Pickup
			I Pickup

Nota: La imagen representa las columnas validadas de la “Tipo de Evento” donde se categoriza en I Pickup, I Disparo y Lockout. Captura tomada de Power Query

4.2.3. Creación del modelo de datos unificado y estructurado en Power BI

Una vez aplicadas todas las transformaciones en Power Query, los datos fueron cargados y aplicados al modelo de datos de Power BI. Este modelo consolidó la información de NULEC y NOJA en una estructura relacional única con tablas de hechos y dimensiones que facilitan el análisis y la visualización.

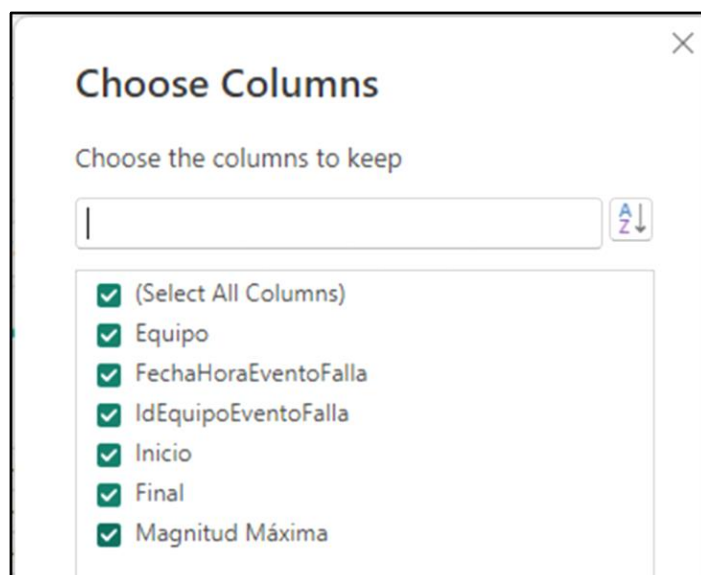
4.2.3.1. Estructura del modelo

El modelo de datos resultante está compuesto por una tabla de "Eventos de Falla" (tabla de hechos) que contiene el agrupamiento de todos los eventos registrados y relacionados entre sí, considerados un solo evento de interés. Esta tabla contiene la

estampa de tiempo inicial y final del evento, la identificación del equipo correspondiente y campo de clave relacional única. La **Figura 36** muestra las columnas que contiene dicha tabla de “Eventos de falla”.

Figura 36

Estructura de la tabla “Eventos de falla”

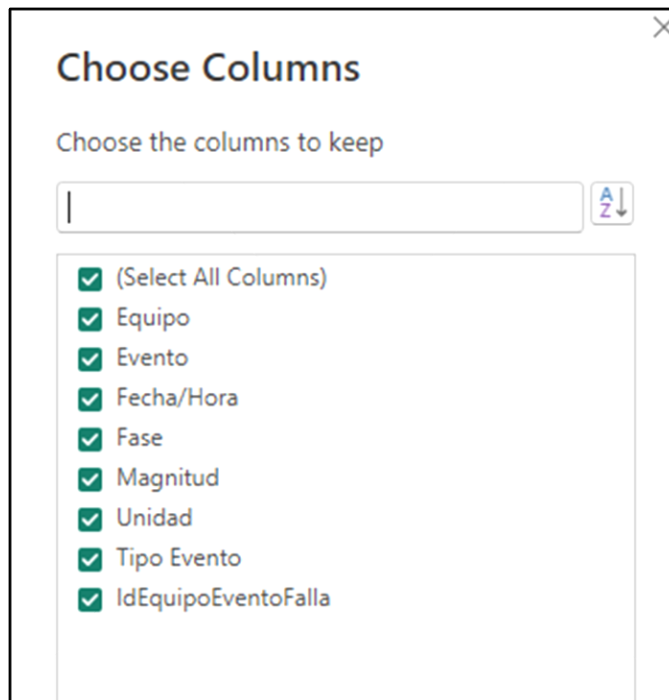


Nota: La imagen representa las columnas de la tabla relacional “Eventos de Falla”.
Captura tomada de *Power BI*

La otra tabla relacional (tabla de dimensiones) se denominada “*Datos Unificados*” y contiene datos relacionados a cada evento de falla, como la magnitud de falla, la unidad, la fase, el tipo de evento y adicionalmente la columna relacional no única (ver **Figura 37**). La relación entre estas tablas se estableció mediante la concatenación del identificador de “*Equipo*” y la “*Estampa de tiempo del evento convertida a texto*”.

Figura 37

Estructura de la tabla “Datos Unificados”.



Nota: La imagen representa las columnas de la tabla relacional “DatosUnificados”.
Captura tomada de *Power BI*

4.2.4. Representación visual: dashboard interactivo

Este proceso de integración exitoso permitió superar la heterogeneidad de los formatos de datos propietarios y la dispersión de la información. Esto generó una base de datos coherente y estructurada esencial para el desarrollo del *dashboard* interactivo, el cual contiene cuatro páginas principales para el análisis temporal de los eventos, todas equipadas con una selector y filtro de tipo de falla y periodo de análisis interactivo.

4.2.4.1. Selector y filtros interactivos

En la esquina superior izquierda de cada página del *dashboard*, se presentan cuatro ventanas (ver **Figura 38**) detalladas a continuación:

- Ventana de “Equipo”: esta ventana permite seleccionar el equipo o equipos serán mostrados en las gráficas de análisis de eventos.
- Ventana de “Tipo de Evento”: esta ventana permite seleccionar uno o varios tipos de eventos a mostrarse en las gráficas de análisis de eventos.
- Ventana de Fecha (Year,Month,Day): permite seleccionar el periodo de análisis, siempre y cuando contenga datos cargados.
- Ventana de “Conteo de eventos”: esta ventana solo muestra la cantidad de eventos registrados según las selecciones previas realizadas. Mediante este dato, se define la frecuencia de eventos según el periodo de análisis seleccionado.

Figura 38

Selector de “Equipo” y filtros interactivos del periodo de análisis y tipo de evento

Equipo	Tipo Evento	Year, Month...
Search ☐ CALETAS DE DRAKE,8962-730-266-00,NC ☐ DRAKE, 8956-730-002-00,NC ☐ PALMAR SUR,2240-924-014-00,NC ☒ PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC ☐ SAN JUAN PALMAR SUR,8956-924-511-00,NC ☐ SIERPE - SAN JUAN,2249-924-241-00,NC	☐ I Pickup ☐ I. Disparo ☐ Lockout	☐ 2023 ☐ 2024 ☒ 2025

Conteo de Eventos

33

Nota: La imagen representa el selector del “Equipo” en estudio y del filtro del periodo de análisis y el “Tipo de Evento” a visualizar. Captura tomada de *Power BI*

4.2.4.2. Ventana de visualización en formato tabla

Una ventana dinámica con formato de tabla es visualizada en el bloque superior derecha de las 4 páginas que componen del *dashboard*. Esta ventana dinámica contiene el detalle de los eventos registrados según el filtro aplicado, mostrando nombre del equipo, estampa de tiempo (fecha y hora del evento), tipo de evento, fase y magnitud de la corriente de falla.

La **Figura 39** evidencia una captura de dicha ventana, la cual es útil para visualizar, en forma optimizada, el detalle de los eventos de uno o varios equipos de protección integrados en una única vista.

Figura 39

Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato tabla

Back to report DETALLE DE EVENTOS PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC					
Equipo	Fecha/Hora	Tipo Evento	Fase	I Falla	Evento
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	01/06/2025 03:23:50 a.m.	Lockout			Lockout
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	01/06/2025 09:58:09 a.m.	Lockout			Lockout
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	03/06/2025 05:31:39 p.m.	Lockout			Lockout
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 12:27:54 a.m.	I Pickup	A	330,00	Current at maximum Phase A - Maximum Current of 330 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 12:27:54 a.m.	I Pickup	B	28,00	Current at maximum Phase B - Maximum Current of 28 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 12:27:54 a.m.	I Pickup	C	29,00	Current at maximum Phase C - Maximum Current of 29 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 12:27:54 a.m.	I Pickup	Tierra	295,00	Current at maximum Earth Maximum Current of 295 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 04:46:24 a.m.	I Pickup	A	335,00	Current at maximum Phase A - Maximum Current of 335 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 04:46:24 a.m.	I Pickup	B	30,00	Current at maximum Phase B - Maximum Current of 30 A during fault
PLAYA BLANCA,8933-924-669-00,NC	06/06/2025 04:46:24 a.m.	I Pickup	C	29,00	Current at maximum Phase C - Maximum Current of 29 A during fault

Nota: La imagen muestra la ventana del dashboard donde se despliega la información de eventos de falla en formato tabla y en forma dinámica según selector y filtros aplicados. Captura tomada de *Power BI*

4.2.4.3. Ventana de visualización en formato gráfico página “Eventos por equipo”

La ventana dinámica con formato gráfico es visualizada en el bloque inferior de las 4 páginas que componen del *dashboard*. En la primera página etiquetada como “Eventos por equipo”, la ventana interactiva dinámica contiene un gráfico de barras, segmentado por “Tipo de evento” y distribuido según la cronología de ocurrencia. Cada tipo de evento aparece con un color y un nivel de ubicación en el eje horizontal del gráfico que representa la gravedad del impacto. La magnitud de la corriente de falla asociada a cada evento se grafica con una escala independiente en la margen derecha de la ventana. Cada barra y punto de la ventana es dinámico y actúa como filtro al seleccionarlo. Además, al posicionar el puntero sobre ellos, se despliega información relevante.

La **Figura 40** muestra una captura de dicha ventana con información gráfica, la cual optimiza el análisis de la condición de las fallas ocurrientes en el sector protector del equipo seleccionado.

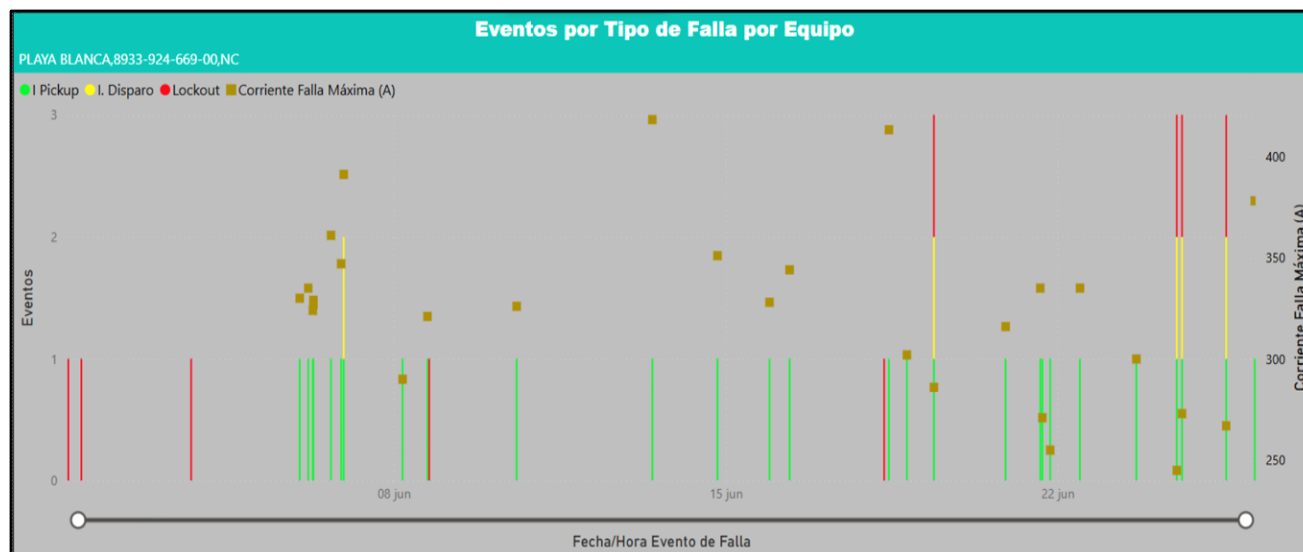
Para la interpretación del gráfico, es necesario considerar aspectos fundamentales para extraer, en forma óptima, la condición de la red:

- El eje horizontal contiene la variable de la estampa de tiempo unificada.
- El color de la barra indica el “Tipo de evento” registrado:
 - Verde representa el tipo de evento categorizado como “I Pickup” y como indicó en el apartado 4.2.2.3, es la categoría que, por sí misma, implica solo depresiones de tensión y, consecuentemente, tiene una menor afectación en comparación con las restantes categorías.
 - Amarillo representa el tipo de evento categorizado como “I Disparo” y, como se indicó en el apartado 4.2.2.3, es la categoría que conlleva un nivel de impacto medio, pues, por sí misma, solo implica interrupciones momentáneas.

- Rojo representa el tipo de evento categorizado como “Lockout” y, como se indicó en el apartado 4.2.2.3, es la categoría que conlleva un nivel de impacto más alto, ya que implica interrupciones del servicio eléctrico prolongadas.
- Nivel de la escala vertical (margen izquierdo).
 - Nivel 1: nivel de menor impacto. En este nivel, ocurren el tipo de evento categorizados como “I Pickup” (Color verde) y se relaciona con una alerta temprana del estado de la red. En este nivel, también se alojan los eventos categorizados como “Lockout”, en cuyo caso, representan mandos de apertura programada y no están relacionados directamente con el estado de la red.
 - Nivel 2: en este nivel, se encuentra el tipo de evento categorizados como “I Disparo” (color amarillo) y se relaciona con un deterioro notable del servicio brindado.
 - Nivel 3: en este nivel, se encuentra el tipo de evento categorizados como “Lockout” (Color rojo) y se relaciona con un deterioro incrementado del servicio brindado.
- Los marcadores cuadrados de color dorado representan el valor de la corriente de falla en cada evento y está referido a eje vertical del margen derecho de la gráfica. Este valor (con excepciones) es inversamente proporcional a la distancia donde ocurre la falla. Por tanto, se convierte en un elemento importante para analizar posibles zonas de afectación y la efectividad de la coordinación de protecciones.

Figura 40

Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico



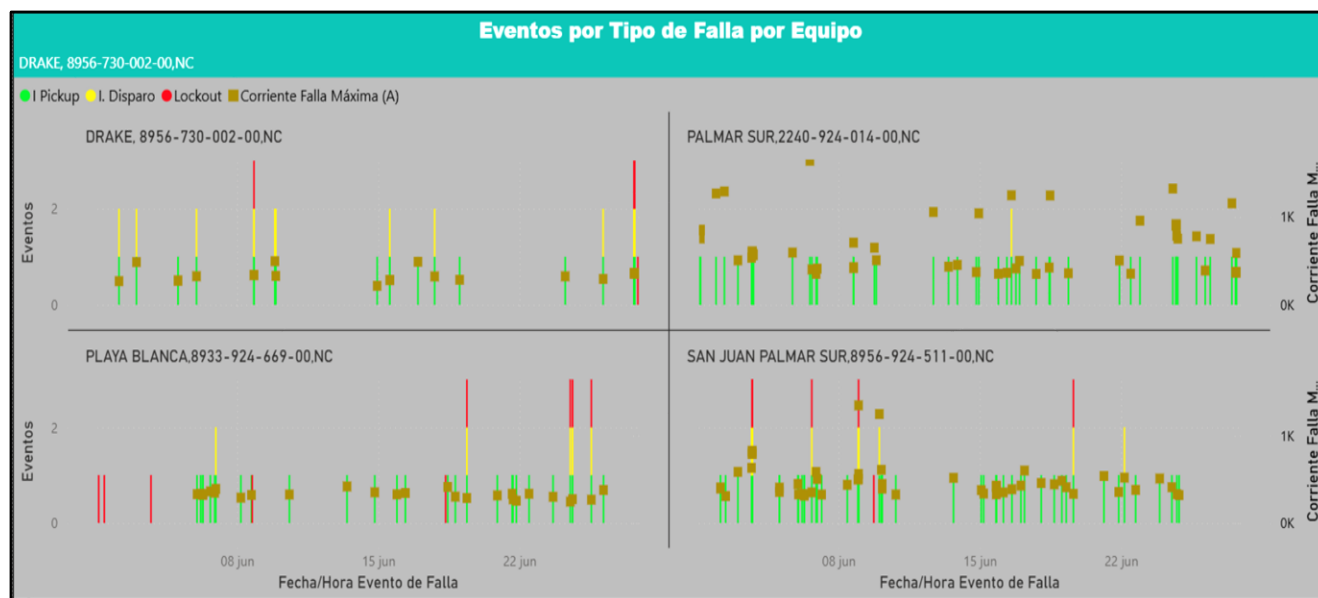
Nota: La imagen muestra la ventana del dashboard donde se despliega la información de eventos de falla, por tipo de evento, en formato de gráfico de barras y en forma dinámica según selector y filtros aplicados. Captura tomada de *Power BI*

Como se indicó en la introducción de este tema, el *dashboard* contiene tres páginas adicionales, donde se expone la información con diferentes perspectivas.

La página etiquetada como “Eventos comparativos por equipo” contiene la misma información de la página ya analizada, con la diferencia que la gráfica permite selección múltiple de equipos para realizar un análisis comparativo. Esta comparación permite analizar un sector con respecto a otro en el mismo periodo de tiempo, además de analizar, en forma optimizada, la efectividad de la coordinación de protecciones, comparando los disparos de entre equipos con dependencia de coordinación. La **Figura 41** muestra la ventana gráfica de los eventos de falla clasificados por tipo de evento con la diferencia de que se pueden seleccionar múltiples equipos simultáneamente.

Figura 41

Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico para múltiple equipos

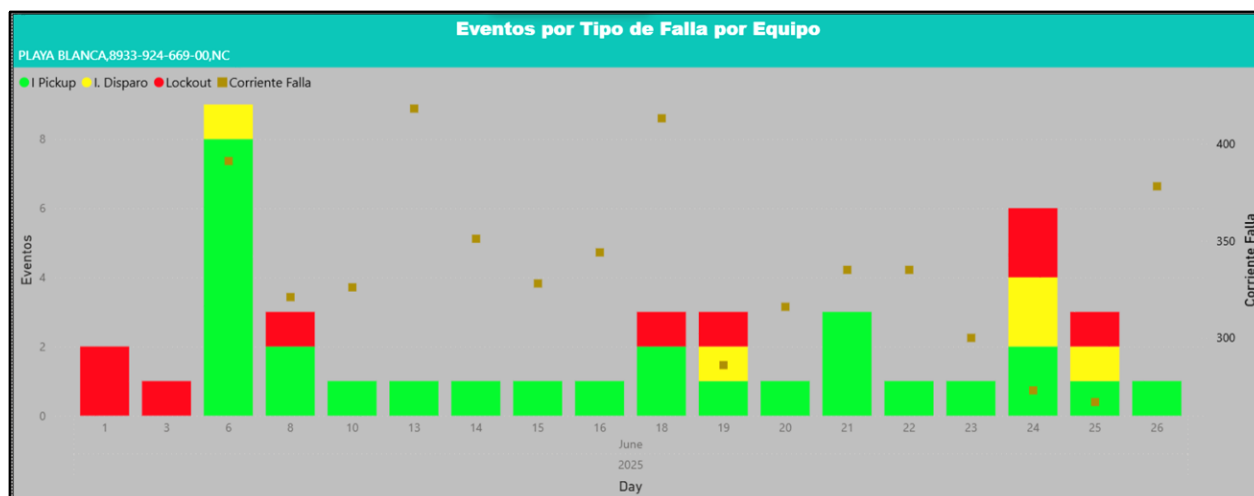


Nota: La imagen muestra la ventana del *dashboard* donde se despliega la información de eventos de falla, por tipo de evento, en formato de gráfico de barras y en forma dinámica según selector y filtros aplicados para múltiples equipos. Captura tomada de *Power BI*

La tercera página etiquetada como "Eventos acumulados por equipos" contiene básicamente la misma información de la primera página analizada (Eventos por equipo) con la diferencia de que la base de tiempos agrupa por día, mes y año, lo cual permite analizar frecuencias y tendencias en forma optimizada (ver **Figura 42**).

Figura 42

Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico acumulado por periodo seleccionado

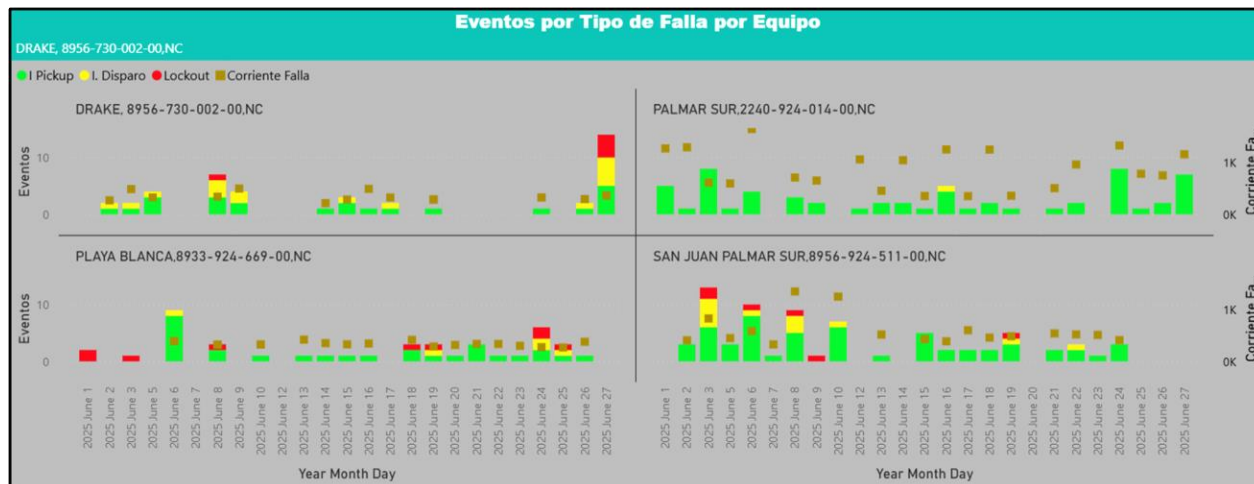


Nota: La imagen muestra la ventana del dashboard donde se despliega la información de eventos de falla acumulados por periodo, clasificados por tipo de evento, en formato de gráfico de barras y en forma dinámica según selector y filtros aplicados. Captura tomada de *Power BI*

La cuarta y última página etiquetada como “Eventos comparativos acumulados por equipos” contiene también básicamente la misma información de la primera página analizada (Eventos acumulados por equipos) con la diferencia de que la gráfica permite selección múltiple de equipos para realizar un análisis comparativo. Esta comparación permite analizar un sector con respecto a otro en el mismo periodo de tiempo con datos acumulados por periodo seleccionado. La **Figura 43** muestra la ventana gráfica de los eventos de falla clasificados por tipo de evento acumulado por periodo con la diferencia de que puede seleccionar múltiples equipos simultáneamente.

Figura 43

Ventana interactiva con detalle de eventos de falla en formato gráfico acumulado por periodo seleccionado para múltiple equipos



Nota: La imagen muestra la ventana del dashboard donde se despliega la información de eventos de falla acumulados por periodo para múltiples equipos, clasificados por tipo de evento, en formato de gráfico de barras y en forma dinámica según selector y filtros aplicados. Captura tomada de *Power BI*

4.3. Resultados del objetivo 3: Evaluar la efectividad del *dashboard* interactivo en la mejora del análisis de coordinación de protecciones y la planificación del mantenimiento mediante retroalimentación de expertos

Para efectos de la evaluación de la efectividad del *dashboard* interactivo, se solicitó un espacio con los ingenieros de las áreas de Mantenimiento y Equipos Especiales de la Región Brunca, la cual fue efectuada por medio de Teams el día 1 de julio de 2025 en horario de 7:30 a. m. a 8:20 a. m. La evaluación se realizó mediante la aplicación de una encuesta a seis expertos del ICE, cuyas respuestas detalladas se documentan en el **Apéndice D: Retroalimentación de la evaluación de la herramienta**".

Durante la sesión, se realizaron consultas sobre la frecuencia de la actualización de datos a lo que se respondió que la actualización periódica es un punto medular; por lo tanto, la implementación efectiva a nivel regional va a depender de la disponibilidad de ese recurso humano que realice la descarga frecuente de los datos de los equipos de protección mientras no surja una opción automatizada.

Otra consulta relevante realizada durante la sesión implicó la posibilidad de enviar reportes automáticos periódicamente. A ello, se respondió que, efectivamente, la herramienta puede configurarse para envíos programados a un grupo determinado de usuarios vía correo electrónico.

Al cierre de la sesión, se solicitó una retroalimentación sobre la herramienta expuesta, cuyos resultados se resumen seguidamente presentando un análisis cuantitativo de las percepciones mediante escalas de Likert y una síntesis cualitativa de los comentarios abiertos.

4.3.1. Perfil de los expertos evaluadores

Seis expertos de las áreas de Operación y Mantenimiento de la Región Brunca participaron en la evaluación del *dashboard*. Sus perfiles son los siguientes:

- Coordinadores de Área: 3 participantes (Carlos Rodríguez Zúñiga, Eduardo Gómez Badilla, Mario Alonso Betancourt Cortés), quienes cuentan con experiencia entre 1-5 años (1) y más de 10 años (2).
- Ingenieros de Operación: 1 participante (Mauricio Guzmán Viquez) con experiencia de 1-5 años.
- Ingenieros de Mantenimiento: 2 participantes (Jorge Eduardo González Calderón, Carlos A. Cordero Badilla), ambos con más de 10 años de experiencia.

Esta composición de perfiles garantiza una evaluación integral desde la perspectiva de la gestión, la operación y el mantenimiento de la red.

4.3.2. Resultados cuantitativos de la evaluación usando escala Likert.

Las percepciones de los expertos sobre la efectividad del *dashboard* se evaluaron utilizando una escala de 1 (Totalmente en Desacuerdo) a 5 (Totalmente de Acuerdo). En el **Apéndice D: Retroalimentación de la evaluación de la herramienta**, se muestran los resultados detallados de la encuesta.

Los resultados cuantitativos demuestran una alta percepción de efectividad y utilidad del *dashboard* interactivo. En la mayoría de los ítems, los expertos mostraron un acuerdo total (promedio de 5.0), destacando la facilidad de acceso y la integración de datos, la optimización del análisis, además de la capacidad de las visualizaciones para identificar secciones de la red que requieren mantenimiento.

4.3.3. Resultados cualitativos de la evaluación mediante comentarios abiertos

Los comentarios abiertos de los expertos complementaron los hallazgos cuantitativos. Por tanto, proporcionaron una comprensión más profunda de los aspectos positivos y útiles del *dashboard*, así como posibles áreas de mejora. Los aspectos más destacados son los siguientes:

- Comprensión rápida y claridad visual: expertos como Carlos Rodríguez Zúñiga y Carlos A. Cordero Badilla resaltaron la "comprensión rápida por medio de gráficos" y la "facilidad de interpretación de datos", así como la "claridad de los datos", validando el objetivo de desarrollar visualizaciones que faciliten el análisis.
- Capacidad de actuar preventivamente: Mauricio Guzmán Víquez enfatizó que la herramienta "nos permite actuar preventivamente", el cual es un indicador directo de su valor en la planificación del mantenimiento y la optimización de procesos.
- Mejora en la atención y planificación de mantenimiento: Eduardo Gómez Badilla señaló la importancia del *dashboard* "para mejorar la atención de los circuitos que podríamos tener fallas en aspectos de mantenimiento", mientras que Mario Alonso Betancourt Cortés destacó su utilidad para "analizar cuál es la sección donde surgen problemas de calidad de servicio eléctrico, por lo cual se puede analizar la falta de mantenimiento en la red y los equipos que la conforman". Dichos comentarios confirman la capacidad de la herramienta para optimizar la planificación del mantenimiento.
- Análisis del comportamiento de operaciones y cálculos de indicadores de calidad: Jorge Eduardo González Calderón subrayó la capacidad del *dashboard* para "visualizar el comportamiento de las operaciones de protección de los equipos" y que es un "gran aporte de esta solución es que permite conocer la cantidad de interrupciones momentáneas que cada equipo ha realizado en un periodo de tiempo determinado, pudiéndose diseñar y calcular algunos indicadores de calidad en la continuidad del suministro eléctrico, el cual es afectado por interrupciones

momentáneas (< 5 minutos)". Por tanto, se valida la relevancia de las visualizaciones de secuencia de eventos y tendencias temporales para el análisis de coordinación y la potencial contribución a la evaluación de indicadores de calidad.

- Resumen ejecutivo y atención dirigida: la capacidad de ofrecer un "resumen ejecutivo de eventos por sección" y permitir una "atención más dirigida al problema" fue valorada positivamente.

En general, la retroalimentación cualitativa confirma que el *dashboard* interactivo es percibido como una herramienta valiosa que optimiza el análisis de eventos de falla, facilita la toma de decisiones para la coordinación de protecciones y apoya significativamente la planificación del mantenimiento en la Región Brunca, cumpliendo con los objetivos planteados.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A partir del desarrollo de la presente investigación, se concluye lo siguiente:

5.1.1. Respecto del análisis del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos

El análisis del proceso actual de descarga y almacenamiento de datos de eventos de falla de los reconectores NULEC y NOJA reveló que su naturaleza predominantemente manual y la heterogeneidad de formatos (CSV, XLSX) representan desafíos técnicos y operativos considerables, los cuales entorpecen la automatización y agilidad requeridas para una actualización de alta frecuencia que permita un análisis integrado con información actualizada.

5.1.2. Respecto del diseño e implementación de un modelo estructurado para integrar datos heterogéneos

Se logró diseñar e implementar exitosamente un modelo estructurado, utilizando Power Query, que integra la totalidad de los datos heterogéneos de los reconectores NULEC y NOJA. Con este modelo, se garantiza la consistencia y accesibilidad de variables claves como estampa de tiempo, magnitudes de corrientes de falla, tipo de evento e identificador de equipo, siendo fundamental para el análisis posterior.

5.1.3. Respecto del desarrollo de la herramienta interactiva para la optimización del análisis

Se desarrolló exitosamente una herramienta interactiva (*dashboard*) que integra y visualiza los datos multiformato de eventos de falla registrados en los equipos de

protección de la red de distribución eléctrica. Esta proporciona una visión unificada y ágil que optimiza el análisis de coordinación de protecciones y facilita la toma de decisiones para la planificación del mantenimiento en la Región Brunca del ICE, superando las limitaciones de los métodos actuales de gestión de datos.

5.1.4. Respecto de la evaluación del dashboard interactivo

La evaluación de la efectividad de este *dashboard* realizada directamente mediante la retroalimentación de expertos demostró una alta aceptación y utilidad percibida (4.94 en la escala de Likert 1-5). Por ende, se confirma que la herramienta mejora significativamente el acceso y la comprensión de los datos, lo cual contribuye a la optimización del análisis de coordinación de protecciones y a la planificación del mantenimiento.

5.2. Recomendaciones

Con base en las conclusiones obtenidas de la presente investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

5.2.1. Optimizar el proceso de descarga y almacenamiento de datos

Dado que el proceso actual de descarga de datos de los reconectores NULEC y NOJA es manual, lo cual limita la agilidad para una actualización periódica de alta frecuencia, al ICE, se le recomienda evaluar e implementar soluciones para automatizar la descarga de registros de eventos. A partir de ello, se mejoraría sustancialmente la disponibilidad de datos actualizados para el análisis integrado.

5.2.2. Implementar oficialmente el dashboard interactivo

Considerando la alta efectividad y utilidad percibida del *dashboard* interactivo para la integración y visualización de datos de eventos de falla, a las Áreas de Equipos Especiales y Mantenimiento de la Región Brunca del ICE, se les sugiere coordinar su

implementación oficial mediante el establecimiento de un plan de adopción que incluya capacitación al personal y la definición de un periodo piloto de tres a seis meses. Criterios de éxito como una reducción del 20 % en los tiempos de análisis de fallas complejas y una mejora del 10 % en la asignación de recursos para mantenimiento preventivo podrían ser evaluados usando la propia herramienta como métrica y, ajustando, posteriormente, los valores porcentuales según criterio experto.

5.2.3. Expandir las capacidades analíticas de la herramienta

Para potenciar la optimización continua de los procesos operativos y de mantenimiento, se recomienda investigar la integración de fuentes de datos adicionales al *dashboard* interactivo, como registros detallados de sistemas SCADA, datos de sensores de corriente y datos de registro de averías. De igual forma, se recomienda desarrollar nuevas visualizaciones y métricas de desempeño que profundicen el análisis del comportamiento de la red, permitan una localización más precisa de fallas y faciliten la generación de indicadores de calidad del servicio.

5.2.4. Establecer rutinas de uso estratégico del dashboard

Se recomienda que el Área de Equipos Especiales y Mantenimiento del ICE incorpore el *dashboard* interactivo en sus rutinas de trabajo para el seguimiento continuo de los esquemas de coordinación de protecciones, incluyendo la identificación proactiva de áreas críticas que requieran intervención de mantenimiento preventivo y la validación periódica de la efectividad de las acciones implementadas. Ello contribuirá directamente a la mejora de los indicadores de continuidad del servicio eléctrico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comunicación directa

Ing. González Calderón, J. Coordinador Mantenimiento, ICE, Región Brunca (2 de abril, 2025). *Solicitud de información de la gestión de Mantenimiento en el Circuito Palmar Sur*. [Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional. Tesis no publicada]

Ing. Guzmán Víquez, M. Coordinador Equipos Especiales, ICE, Región Brunca (25 de marzo, 2025). *Solicitud de información de equipos reconectores del Circuito Palmar Sur*. [Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional. Tesis no publicada].

Sr. Sáenz Gutiérrez, F. Coordinador Grupo SIRDE, ICE, Región Brunca (1 de marzo, 2025). *Solicitud de información del Circuito Palmar Sur*. [Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional. Tesis no publicada]

Libros

Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2006). *Protective Relaying: principles and Applications* (Tercera). Tylor y Francis Group. <https://surl.li/pwqusg>

Coto Jiménez, M. (2014). *Minería de datos: concepto y aplicaciones*. 91, 61-65.

<https://surl.li/dleuhq>

Glover, J. D., Overbye, T. J., & Sarma, M. S. (2017). *Power system analysis & design* (Sixth edition). Cengage Learning. <https://surli.cc/nworpz>

Tesis

Arango, F. M. y Correa, H. A. O. (2025). *Análisis del impacto de las fallas en el sistema de distribución de energía eléctrica* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. <https://surli.cc/kiomvv>

Bedoya Ocampo, J. E. (2024). *Análisis de estrategia de detección de fallas incipientes para redes de distribución con cables subterráneos basada en similitudes de voltaje* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://surl.lu/nbxjof>

Chávez Ninatanta, A. y Mallma Vega, L. A. (2022). Optimización del servicio eléctrico, mediante el incremento de la confiabilidad del alimentador CHS033 9NA SUR, de la S.E. CHIMBOTE SUR-HIDRANDINA. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://surl.li/crcpml>

Fenco Custodio, J. G. (2021). Coordinación de protección de MT 22.9 KV para la continuidad del servicio en la red eléctrica del SE Pallasca AMT PAL002. *Repositorio Institucional - UNS*. <https://surli.cc/wtzkpr>

Gómez, R., Cabrera, D. y Robles, P. (2023). Estudio para la localización de fallas en sistemas de distribución eléctrica. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, 30, 64-78. <https://doi.org/10.17163/ings.n30.2023.06>

Guevara Torres, R. A. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo de modos de falla para transformadores de tipo poste, empleados en la red de distribución de la Región Huetar (Caribe) del ICE (Cóncevas)*. <https://surl.li/pauvdo>

Mondragón, M. U. (2023). *Evaluación del comportamiento de la red eléctrica de Coopesantos R.L mediante el análisis de la penetración de recursos distribuidos de generación solar, en sistemas de potencia conforme a la Ley 10086* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://surl.li/xhotyw>

Padua, L. M. (2014). *Comparación interactiva de modelos de minería de datos utilizando técnicas de visualización* [Tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales]. <https://surli.cc/latjyx>

Sanclemente, J. P. O. (2010). *Mantenimiento de sistemas eléctricos de distribución* [Universidad Politécnica Salesiana - UPS]. <https://surl.li/bpwdxmx>

Manuales

Hernández, F. y Usuga, O. (2024, noviembre 15). *Manual de R*. <https://surl.li/tezjkw>

Páginas

ARESEP (29 de setiembre, AR-NT-SUCAL de 2015). Supervisión de la calidad del suministro eléctrico en baja y media tensión (ART-NT-SUCAL). *Normativa Normativa Técnica Nacional*. No. RJD-070-2015. <https://surl.li/dtvgge>

Druva.com (s. f.) *Recovery Point Objective: What RPO Is & How to Calculate It*. <https://surl.li/cauepv>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4a. ed.). McGraw-Hill. <https://surl.li/lbywpm>

ICE, DDyC. (2020). *Especificaciones técnicas y control de calidad reconector trifásico para 34,5 kV*. <https://surl.li/mzowbk>

IEEE Standards Association (s. f.) IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/242/426/>

IJSREM (s. f.) Comparative Analysis of Data Visualization Tools: P: Power BI and Tableau. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.55041/IJSREM26272>

ISO (s. f.) ISO/IEC 27002:2022(en), *Seguridad de la información, ciberseguridad y protección de la privacidad—Controles de seguridad de la información*. <https://surl.li/zpgrrl>

Maggierui. (s. f.). *Introducción a SharePoint y OneDrive en Microsoft 365 para administradores—SharePoint in Microsoft 365*. <https://surl.li/prbary>

Microsoft (s.f.) *Ayuda y formación de Excel*. (s. f.) <https://support.microsoft.com/es-es/excel>

NOJA (s. f.) *Noja 559 18 Es Cms Help File | PDF | Transmisión de datos | Ingeniería Eléctrica*. Scribd. <https://surl.li/zpilaw>

NULEC (s. f.). *Nulec N-series | Schneider Electric Colombia*. <https://surl.li/zdfzfi>

SIRDE (s. f.) *VISOR SIRDE V6. ICE*. <https://surl.li/dooxcg>

Usedatabrain (s. f.) *R vs Power BI*. <https://surl.li/lecqje>

Villalobos, M. S. (27 de mayo, 2024). *Informe de calidad eléctrica del servicio de distribución 2023*. <https://surli.cc/ebjclr>

Yev. (23 de mayo, 2024). *Backup Strategies: Why the 3-2-1 Backup Strategy is the Best*. *Backblaze Blog | Cloud Storage & Cloud Backup*. <https://surli.cc/htncuv>

Revistas

Birol, F. (6 de noviembre, 2017). *Digitalization and Energy – Analysis*. International Energy Agency. <https://surl.li/avlpgbf>

Bishop, M. A., & Bishop, M. (2003). *Computer Security: Art and Science*. Addison-Wesley Professional. <https://surl.li/tscmjib>

Clark, R. (14 de octubre, 2021). *Evolution of Data Storage*. *Platinum Data Recovery*. <https://surl.li/lqznmr>

- Hilbert, M., & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*, 332(6025), 60-65. <https://doi.org/10.1126/science.1200970>
- Kavya, G., & Ashoka, H. N. (2019). Comparative Study of Radial and Ring Type Distribution System. *10*, 06, 666-671. <https://surl.li/tglypm>
- Lozada Rincón, M. J. (2019). *Guía para la coordinación de protecciones eléctricas en NEPLAN*. <https://hdl.handle.net/11059/10560>
- Microsoft (24 de octubre, 2023). *Introducción a Power BI Desktop*. <https://surl.li/xvuvqq>
- Pérez Torres, A. y Soler Silva, J. (2007). Metodología para el aprendizaje del diseño de bases de datos relacionales. *Luz*, 6(3), 1-10. <https://surl.li/mwszpv>
- Powerdata.es (s.f.) *Integración de datos: C: concepto e importancia en la empresa actual*. <https://surl.li/osqnxb>
- Putrama, I. M., & Martinek, P. (2024). Heterogeneous data integration: C: challenges and opportunities. *Data in Brief*, 56, 110853. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110853>
- Solís Ortega, R., Gómez Ramírez, G. A., Brenes Fallas, D., Morales Hernández, J. P. y Umaña Mondragón, M. (2025). Modelado de redes de distribución usando ETAP. *Revista Tecnología en Marcha*, 38(2), pp. 48-62. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i2.7104>
- Tableau (s. f.) *Tutorial: Get Started with Tableau Desktop*. <https://surl.li/bngpiq>

Weikert Bicalho, F. (2021). Infraestructura resiliente: U: un imperativo para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. *CEPAL*, 160. <https://surl.li/dyqlzg>

APÉNDICES

6.1. Apéndice A: Autorización para realizar tesis en el ICE, Región Brunca



2025-06-30
1600-155-2025

Señores
Ingeniería Electrónica.
Universidad Central, Costa Rica.
Presente

Estimados señores:

Asunto: Aceptación para proyecto licenciatura en Ingeniería Electrónica Señor Guillermo Valverde Barquero, según solicitud de 9 de febrero 2025.

Reciba un cordial saludo

Por medio de la presente comunicamos que el Instituto Costarricense de Electricidad, acepta que el estudiante Guillermo Valverde Barquero, cédula 602030303, realice su tesis para la conclusión de licenciatura en Ingeniería Electrónica en esta institución.

El proyecto se llevará a cabo durante el primer semestre del año 2025 en el área de operación, para lo cual se autoriza al ingeniero Mauricio Guzmán y el señor Federico Saenz a compartir la información de los datos de registro de operaciones de los equipos de protección del circuito Palmar Sur, así como los datos generales de la topología y ubicaciones georreferenciadas del circuito. Se restringe el acceso y uso de datos sensibles como costos operativos y de inversión.

Sin otro particular se suscribe.

Atentamente,
Gestión de la Distribución Región Brunca
División Distribución y Comercialización
MARVIN DONEL
ZUÑIGA
ALVAREZ
(FIRMA)
Marvin Zuñiga Álvarez
Coordinador

Firmado digitalmente
por MARVIN DONEL
ZUÑIGA ALVAREZ
(FIRMA)
Fecha: 2025.06.30
08:29:56 -06'00'

Archivo

Teléfono (506) 2000-4135
mzunigaal@ice.go.cr



6.2. Apéndice B: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur a las Áreas de Equipos Especiales, Mantenimiento y Grupo SIRDE Regional

6.2.1. Solicitud de información de la gestión de mantenimiento en el Circuito Palmar Sur



San Isidro, 2/04/2025

Señor:

Guillermo Valverde Barquero

Estudiante de Licenciatura de Ingeniería Electrónica
Universidad Central, Costa Rica

Presente.

Estimados don Guillermo

Asunto: Solicitud de información de la gestión de Mantenimiento en el Circuito Palmar Sur para tema de tesis de grado de Licenciatura de Ingeniería Electrónica en la Universidad Central.

De acuerdo con su solicitud le comparto la siguiente información:

1. Esquema de mantenimiento aplicado.

El circuito Palmar Sur se caracteriza por tener una vegetación de rápido crecimiento y una longitud de red extensa, lo que implica un alto consumo de recurso en la atención de averías y en el mantenimiento preventivo, especialmente control de vegetación. Esta misma condición se replica en todos los circuitos costeros de la región Brunca, a lo cual se le suma posiciones ambientalistas que dificultan las labores de descuaje de mayor impacto. Tal como se menciona, el mantenimiento está clasificado básicamente en dos tipos:

El primero es reactivo, aplicado para atender las averías declaradas, que afecta la continuidad del servicio y por consiguiente los indicadores de gestión regionales. Según los datos registrados en el sistema oficial de registro de averías, la mayor cantidad de averías (un 39% en el año 2024) son producto de causas ambientales (lluvia, viento animales, vegetación, descarga atmosférica son las más representativas), ante esto, también tenemos claro que la vegetación cerca de las redes eléctricas provoca que

Teléfonos (506) 2000-0574
jgonzalezc@ice.go.cr





también la fauna entre en contacto con las redes eléctricas y provoque electrocución del animal y averías en la red eléctrica. (Ver anexo adjunto)

El segundo esquema de mantenimiento tiene mayor componente preventivo, se caracteriza por estar basado en condición, y como fuente de información para activar las acciones, se tienen las inspecciones de campo realizada por los grupos técnicos y supervisores.

Ambos esquemas consumen considerables recursos, por lo que debe priorizar para atender toda la red regional con un recurso limitado.

2. Fuente de información utilizada para planificar y ejecutar el mantenimiento.

Como se indicó en la consulta #1, para las averías materializadas, existe un sistema de registro de eventos llamado "SIGE", funcional para análisis estadístico de averías. La segunda fuente de información son las inspecciones de campo, basado en la experticia técnica, la que es trasladada a un sistema local de planificación de actividades para su posterior ejecución. En muchas ocasiones, se complementan el histórico de averías y las inspecciones de campo para la toma de decisiones.

Tanto las averías atendidas como el mantenimiento preventivo quedan doblemente registrado, tanto en una plataforma de recolección de datos llamada "SURVEY 123" como en el sistema ERP llamado "SAP".

Sin otro particular, y esperando sea útil la información aportada, se suscribe.

Atentamente,

Ing. Eduardo González Calderón
Coordinador Área de Mantenimiento
Región Brunca

Cc./ Área Mantenimiento Brunca
Archivo

Teléfonos (506) 2000-0574
egonzalezc@ice.go.cr



6.2.2. Solicitud de información de equipos reconectores del Circuito

Palmar Sur



San Isidro, 25/03/2025

Señor:

Guillermo Valverde Barquero

Estudiante de Licenciatura de Ingeniería Electrónica
Universidad Central, Costa Rica

Presente.

Estimados don Guillermo

Asunto: Solicitud de información de equipos reconectores del Circuito Palmar Sur para tema de tesis de grado de Licenciatura de Ingeniería Electrónica en la Universidad Central.

De acuerdo con su solicitud le comparto la siguiente información:

1. Estado operativo y tipo de comunicación de los equipos instalados en el circuito Palmar Sur.

- Recloser Palmar Sur, Modem 3g, Operando normal
- Recloser Finca 6, Modem 3g, Operando normal
- Sierpe-San Juan, Modem 3g, Operando normal
- San Juan Palmar Sur, Modem 3g, Operando normal
- La Palma, Modem 3g, Operando normal
- Bambú, Dañado en espera de cambio
- Hotel Botánica (Privado), sin conexión ni intervención ICE
- Drake, Modem 3g, Operando normal
- Progreso-Drake, Modem 3g, Operando normal
- Los Planes de Drake, Modem 3g, Operando normal
- Caletas - Guarda Costas, Modem 3g, Operando normal

Teléfonos (506) 2000-6441
Mquzman@ice.go.cr





2. Tipo de datos que se registran en el Sistema SCADA actual del ICE.

Relacionado con eventos de falla, el SCADA actual registra la corriente de falla y la secuencia de operaciones simplificada, limitando el registro al último estado ocurrido tras la secuencia completa. En ocasiones, las fallas transitorias no se registran e inclusive en presencia de fallas permanentes puede suceder que no queden registradas debido a fallas de comunicaciones temporales. Este tema es inoportuno tanto para la operación de la red como para la consulta posterior en el sistema SCADA, por lo que, en caso de requerirse se debe recurrir a la interrogación remota (o manual en caso de no contar con comunicación 3g) de los reconectores.

3. Tipo de datos que se registran en las unidades de control de los reconectores.

También relacionado con los eventos de falla, en las unidades de control de los reconectores quedan registrada la estampa de tiempo de cada evento censado y de cada operación realizada, además, las magnitudes de las corrientes en cada fase y neutro, la secuencia de todas las operaciones realizadas. La información que el software de gestión, que las diferentes marcas muestran, son tablas de datos con estructura simples y es mostrada de forma separada por cada equipo que se interroga.

4. Procedimiento y herramienta actual para la consulta de datos registrados y almacenados en las unidades de control de los reconectores.

La interrogación de los equipos de control de los reconectores se realiza en casos de requerirse para algún caso específico, especialmente cuando el operador o personal de mantenimiento reporta al área algún evento que requiera análisis de la coordinación o el estado operativo particular.

Los equipos que cuentan con comunicación por modem 3g, son interrogados vía remota, en tanto, los que cuentan con UTR o del todo no cuentan con comunicación, son interrogados por conexión directa vía puerto físico USB o RS232.

Teléfonos (506) 2000-6441
Mguzman@ice.go.cr





Cada marca de equipo cuenta con su software de gestión, en el caso de la marca NULEC y NOJA, únicas marcas instaladas en el circuito de Palmar Sur, los softwares de gestión son el WSOS Y CMS respectivamente, ambos con el licenciamiento respectivo restringido al Área de Operación de la Red.

5. Información del destino (almacenamiento) y uso de los datos extraídos de equipos reconectores.

Al crear un equipo en ambos softwares de gestión, estos crean sus bases de datos internas, en el caso del WSOS permite definir el directorio de trabajo local, no así lo permite el CMS. Ambos softwares no son orientados a compartir datos en línea, solo permitiendo la exportación de datos y configuraciones mediante descargas locales (en la misma computadora) los cuales deben ser compartidos manualmente mediante otros sistemas.

Los datos extraídos se usan para revisar la coordinación de protecciones principalmente y en muy pocas ocasiones para revisar alguna condición especial de la red en tema de seguridad u operación incorrecta, se destaca que el proceso de revisión es un tanto lento, por lo que no es de consulta frecuente.

6. Procedimiento y herramienta actual para la coordinación de protecciones y la revisión de esta.

La coordinación de protecciones se realiza con un software de la marca "Cyme", mismo que requiere datos de parametrización de la red, como impedancias de la red para cálculos de cortocircuito entre otros. A partir de estas corrientes de cortocircuito máximas y otras restantes consideraciones de la teoría de coordinación de protecciones, se procede a realizar un esquema de coordinación de protecciones, tropicalizado con criterios regionales. La revisión de la coordinación de protecciones se realiza ante la sospecha o evidencia de una operación no esperada.

Teléfonos (506) 2000-6441
Mguzman@ice.go.cr





7. Mecanismo actual para interactuar con el área de Mantenimiento en temas de mejora.

Cuando surgen dudas que implique la operación correcta de un equipo de protección, el coordinador de la zona afectada lo reporta, normalmente vía correo interno, al encargado de equipos especiales, quien toma las medidas que considere oportunas. En el sentido contrario, cuando un equipo está presentando continuas operaciones, el CLOR (Centro Local de Operaciones) alerta al encargado de equipos especiales y al coordinador de mantenimiento de la región interesada para que tomen las medidas que consideren necesarias.

8. Costos promedio de averías.

Cada avería es atendida por una cuadrilla de tres técnicos, cuando la avería es de gran dimensión puede ser atendida por múltiples cuadrillas, dependiendo de la complejidad. Los desplazamientos de las cuadrillas suelen ser considerables en muchas ocasiones, lo que extiende el tiempo de atención, sin embargo, el tiempo promedio de la atención de averías ronda las dos horas promedio. Con esta información se puede deducir que cada avería tiene un costo de 6 horas hombre en promedio, ésta es la información que se puede proporcionar al respecto, limitada por asuntos de confidencialidad de la información.

9. De existir planes de contar con nuevas herramientas en temas de monitoreo y coordinación de protecciones, favor indicar en que consiste, costos y el plazo estimado de puesta en marcha.

Se está en los inicios de una implementación de un sistema ADMS (Advanced Distribution Management System), el cual comprende, entre muchas otras herramientas, la adición de sistemas de censado de la red y la incorporación de software de integración de datos para una mejora sustancial en la operación de la red, en miras de una red inteligente que converja también con los nuevos esquemas requeridos con la llegada de



los recursos distribuidos de generación y almacenamiento. El plazo propuesto para tener el sistema implementado es el año 2029, lo cual llevará otra etapa de maduración no estimada. Los costos de implementación son altos pero necesarios, y tampoco están disponibles por temas de confidencialidad.

Sin otro particular, y esperando sea útil la información aportada, se suscribe.

Atentamente,

Ing. Mauricio Guzmán Viquez
Coordinador Equipos Especiales
Región Brunca


109520210

Cc./ Operación Brunca
Archivo

6.2.3. Solicitud de información del Circuito Palmar Sur



Golfito, 1/03/2025

Señor

Guillermo Valverde Barquero

Estudiante de Licenciatura de Ingeniería Electrónica
Universidad Central, Costa Rica

Presente.

Estimados don Guillermo

Asunto: Solicitud de información del Circuito Palmar Sur para tema de tesis de grado de Licenciatura de Ingeniería Electrónica en la Universidad Central.

De acuerdo con su solicitud le comparto la siguiente información:

1. Longitud de la red primaria aérea = 277 Km
2. Nombre, marca, tipo y ubicación de los equipos de protección instalados.
 - Recloser Palmar Sur, marca Nulec, Trifásico, comunidad Palmar Sur
 - Recloser Finca 6, marca Nulec, Trifásico, comunidad Finca 6
 - Sierpe-San Juan, marca Nulec, Trifásico, comunidad de Sierpe
 - San Juan Palmar Sur, marca Nulec, Trifásico, comunidad de San Juan
 - La Palma, marca Nulec, Trifásico, comunidad de La Palma
 - Bambú, marca Noja, Trifásico, comunidad de Puerto Jiménez
 - Hotel Botánica (Privado)
 - Drake, marca Nulec, Monofásico, comunidad de Puerto Escondido
 - Progreso-Drake, marca Nulec, Monofásico, comunidad de Progreso de Drake
 - Los Planes de Drake, marca Noja, Monofásico, comunidad de Los Planes de Drake
 - Caletas - Guarda Costas, marca Nulec, Monofásico, comunidad de Caletas de Drake

Teléfonos (506) 2002-9540
fsaenz@ice.co.cr





3. Descripción de la ruta que recorre el circuito, relacionada con la ruralidad y la vegetación.

El circuito de palmar sur nace en la subestación Palmar ubicada en la comunidad de Olla Cero, distrito de Palmar Sur del cantón Osa, esta subestación cuenta con un transformador reductor y cinco circuitos de distribución que viajan hacia las comunidades de los cantones de Osa y Puerto Jiménez.

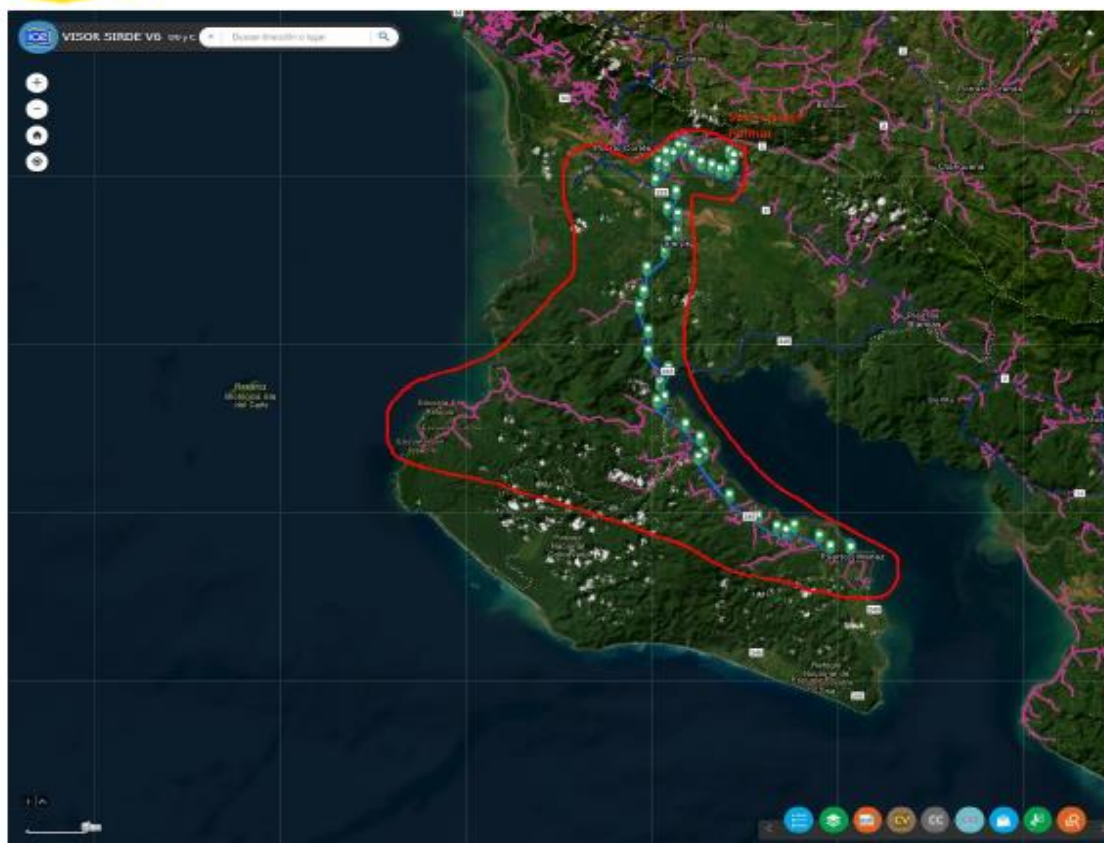
El circuito Palmar Sur, está etiquetado como número 2 y alimenta las comunidades principales de Palmar Sur, Sierpe, Drake, La Palma y Puerto Jiménez centro, con un total de 6610 clientes y 278 km de red primaria aérea.

La ruta del circuito es en su mayoría rural y atraviesa zonas boscosas y áreas de protección del parque Corcovado con presencia de grandes árboles y mucha fauna silvestre. Este circuito también atraviesa gran cantidad de ríos, siendo el principal el río Térraba, se adjunta un pantallazo de la ruta del circuito Palmar Sur y otra del unifilar simplificado.

Adicionalmente se adjunta las direcciones en donde puede consultar de primera mano la información solicitada, con los permisos institucionales para usuarios internos respectivos:

<https://icetel.sharepoint.com/sites/AreaGestionActivoProductivo/sirde/controlcalidad/SitePages/Inventario-DDyC---SIRDE.aspx>

<https://geoportal.ice.go.cr/portalene/apps/webappviewer/index.html?id=81282b2ac0074f8fa59aee97d972e950>



Distribución geo referenciada del Circuito Palmar Sur (dentro de polígono en línea roja)

Sin otro particular, se suscribe.

Atentamente,

Federico Sáenz Gutiérrez
Encargado Grupo SIRDE Regional
Región Brunca

C./ Operación Brunca
Archivo

Teléfonos (506) 2002-9540
fsaenz@ice.go.cr



6.2.4. Solicitud de información detallada sobre gestión de datos de reconectores del Circuito Palmar Sur



San Isidro, 05/06/2025

Señor:

Guillermo Valverde Barquero

Estudiante de Licenciatura de Ingeniería Electrónica
Universidad Central, Costa Rica

Asunto: Solicitud de Información Detallada sobre Gestión de Datos de Reconectores del Circuito Palmar Sur para tema de tesis de grado de Licenciatura de Ingeniería Electrónica en la Universidad Central.

Estimados don Guillermo,

Con respecto a su solicitud de información detallada para su Trabajo Final de Graduación, y con el fin de apoyar su investigación, le comparto los siguientes detalles sobre la gestión de datos de los reconectores en el Circuito Palmar Sur, según lo solicitado:

1. Acceso a Datos Históricos de Eventos en SharePoint:

Se ha habilitado el permiso de lectura a la carpeta de SharePoint Institucional designada para los registros de eventos de falla de los reconectores NULEC y NOJA del circuito Palmar Sur. En esta carpeta se encuentran los archivos correspondientes al primer semestre de 2025. Los archivos se encuentran en los formatos de exportación .csv (para NULEC) y .xlsx (para NOJA), tal como los generan los softwares propietarios WSOS y CMS. Vía correo le estaré pasando el enlace correspondiente, mismo que debe mantener confidencial, sin embargo, sí puede tomar capturas de pantalla si lo requiere.

2. Procedimiento Detallado de Interrogación y Descarga:

Cada marca cuenta con su software de gestión: WSOS para NULEC y CMS para NOJA, los cuales permiten la selección de periodos de datos y grupos de interés para la exportación en diferentes formatos. Adicional a lo indicado en la anterior nota con fecha

Teléfonos (506) 2000-6441
Mquzman@ice.go.cr





25 marzo 2025, le agrego que, el proceso en general, se requiere realizar los siguientes pasos:

- **Establecer de la Conexión con el Equipo:**

La primera acción en ambos softwares (WSOS para NULEC y CMS para NOJA) es la configuración del canal de comunicación (TCP/IP para celular o USB para local) y el establecimiento de la conexión con el equipo. En el caso de comunicación remota, se parametriza la dirección IP del módem, mientras que para la conexión directa se identifica o autodetermina el número de serie.

- **Navegación y Parametrización para la Descarga:**

Una vez establecida la comunicación, se accede al menú de histórico o registro de eventos dentro del software de gestión (ícono "History" en WSOS; ícono "Registro de Eventos" en CMS). En ambos softwares, se parametriza el periodo de interés (primer semestre de 2025) utilizando un filtro de fechas. Adicionalmente, en WSOS se selecciona el grupo de datos de protección ("Protection"). Con esta parametrización se ejecuta el mando de descarga de la información.

- **Exportación y Almacenamiento Local de Archivos:**

Completada la parametrización y descarga actualizada, se procede a exportar los datos. En WSOS, se selecciona la opción "Save As CSV File". En CMS, se utiliza la función de exportación a formato Excel (.xlsx). Los archivos generados se guardan en un directorio de trabajo local que, en la práctica del ICE, está sincronizado con una carpeta específica en SharePoint Institucional.

- **Punto Crítico de Ambas Marcas:**

Tanto el WSOS como el CMS son softwares propietarios que no están diseñados para compartir datos en línea de forma integrada, por tanto, requieren descargas locales que luego son sincronizadas con carpetas SharePoint de Office 365 institucional.





Además, cada vez que se carga un archivo de un equipo, este sustituye al archivo anterior, lo que requiere precaución al definir el periodo de la información exportada.

A su solicitud de participar en un proceso práctico de descarga y almacenamiento de datos, le confirmo que es viable, para lo que le propongo la fecha 13 de junio. Durante la sesión podrá realizar las consultas puntuales y tomar las capturas de pantalla que aporten a su investigación.

3. Proceso de Almacenamiento y Gestión de Datos:

La metodología de almacenamiento actual de los registros de eventos de falla, una vez descargados de los reconectores NULEC y NOJA, implica su organización en una carpeta designada dentro de la plataforma SharePoint Institucional del ICE, la cual es sincronizada con las carpetas locales de las computadoras destinadas a la lectura de datos. Esta estructura facilita y asegura el acceso centralizado para el personal autorizado del Área de Operación. El esquema se presenta a continuación:

Raíz de SharePoint Institucional del ICE

📁 Carpeta: Equipos Especiales RB

📁 Subcarpeta: NULEC

📁 NombreEquipo1

📄 EventLog.csv

📁 NombreEquipo2

📄 EventLog.csv

📁 Subcarpeta: CMS

📄 NombreEquipo.xlsx

📄 Ej: Caletas_de_Drake_Registro_de_Evento.xlsx.

📄 [Otro_NombreEquipo].xlsx



Consideraciones Importantes:

- **Centralización:** SharePoint sirve como un repositorio compartido que permite la lectura y escritura desde diferentes computadoras, manteniendo un único punto de acceso para los datos.
- **Dispersión por Software Propietario:** La organización de los archivos está inherentemente ligada a la forma en que cada software de gestión (WSOS y CMS) exporta y nombra los archivos, resultando en diferentes estructuras de carpetas y convenciones de nombres entre marcas.
- **Nomenclatura Diferenciada:** CMS exporta archivos con el nombre del equipo y el tipo de registro (ej., "Registro de Evento"), mientras que WSOS identifica el equipo en el nombre de la carpeta que lo contiene.

4. Información sobre Respaldos y Seguridad de Datos:

Los procedimientos de respaldo para estos registros históricos de reconectores se rigen por las políticas generales de respaldo de la información del ICE en su infraestructura de SharePoint, que implican por defecto redundancia de datos y versiones del archivo.

En cuanto a la seguridad de la información contenida en estos archivos, se aplican los lineamientos de seguridad informática del ICE para el acceso a SharePoint, incluyendo control de acceso basado en roles y protección perimetral de la intranet. La confidencialidad de la información está resguardada por las políticas institucionales sobre manejo de datos operativos.

5. Otros Datos Relevantes:

Reiteramos que el proceso actual de revisión de estos datos es considerado lento y no de consulta frecuente, lo que limita su uso. Ambos sistemas de gestión tienen la capacidad de generar diferentes formatos de exportación, sin embargo, se han seleccionado los indicados (XLSX y CSV) por su popularidad y facilidad de manejo con herramientas comunes.

Importante mencionar que, el software WSOS tienen la opción de interrogación remota automática (ADR), la cual consiste en la descarga de forma periódica y automática, de los datos de los eventos. Esta función es muy deseable, sin embargo, el





los recursos distribuidos de generación y almacenamiento. El plazo propuesto para tener el sistema implementado es el año 2029, lo cual llevará otra etapa de maduración no estimada. Los costos de implementación son altos pero necesarios, y tampoco están disponibles por temas de confidencialidad.

Sin otro particular, y esperando sea útil la información aportada, se suscribe.

Atentamente,



Ing. Mauricio Guzmán Viquez
Coordinador Equipos Especiales
Región Brunca

Cc./ Operación Brunca
Archivo

6.3. Apéndice C: Plantilla de datos unificada para eventos de falla

En este apéndice, se incluye la estructura (ver **Tabla 1**) de datos mínimos requeridos para la unificación de los datos de interés de los registros de eventos de los reconectores de la marca NULEC y NOJA.

Tabla 1 *Plantilla para datos unificados de eventos de falla*

Equipo	Evento	Fecha/hora	Fase	Magnitud	Unidad	Tipo de evento
Sierpe	Pickup, 550 amp, fase A	03/06/2025 7:34:45	A	550	A	I Pickup
San Juan	Lockout, 950 amp, fase A	08/06/2025 17:43:15	C	950	A	Lockout

Nota: La tabla muestra la estructura definida para contener los datos unificados de las dos marcas de reconectores (Datos de ejemplo), NULEC y NOJA. *Elaboración propia del investigador para efectos del presente trabajo investigativo*

6.4. Apéndice D: Retroalimentación de la evaluación de la herramienta

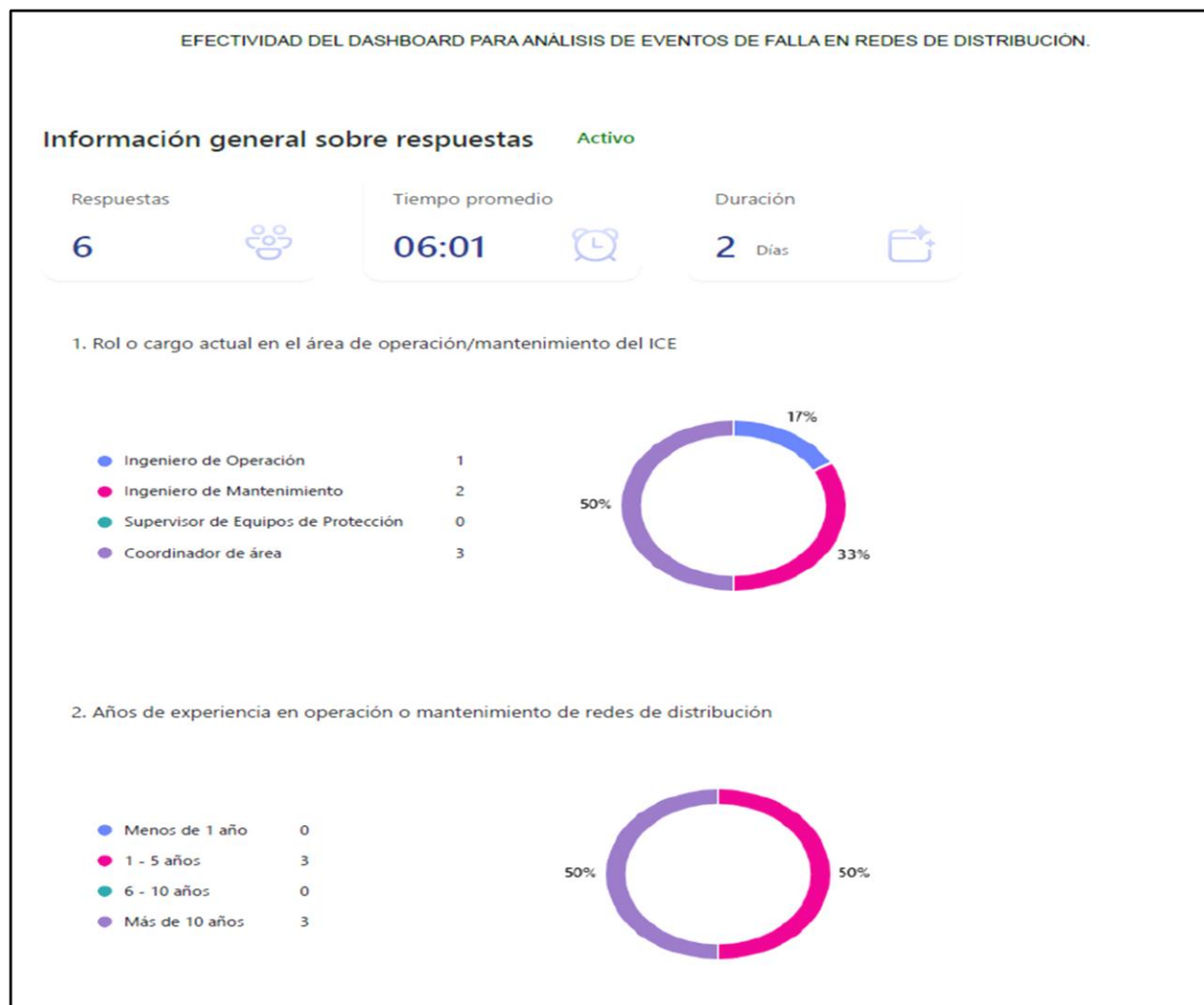
La evaluación de la efectividad del *dashboard* interactivo se expuso a 6 ingenieros de las áreas de Mantenimiento y Equipos Especiales de la Región Brunca, solicitando la evaluación posteriormente mediante una encuesta detallada en el presente apéndice.

La información general del perfil de los participantes fue registrada y se muestra en la **Figura 44**, mostrando el perfil profesional de cada participante. Se debe considerar que las siguientes figuras: **Figura 45** , **Figura 46**, **Figura 47** y **Figura 48** muestran los datos cuantitativos basados en la escala de Likert, en donde se realizan consultas puntuales sobre facilidad de acceso, integración de datos, claridad de las visualizaciones, optimización del análisis, intención de uso y capacidad de las visualizaciones para identificar secciones de la red, las cuales requieren mantenimiento y análisis de la coordinación de protecciones.

Adicionalmente, la **Figura 49** corresponde al resultado de la consulta abierta sobre aspectos positivos y negativos de la herramienta expuesta.

Figura 44

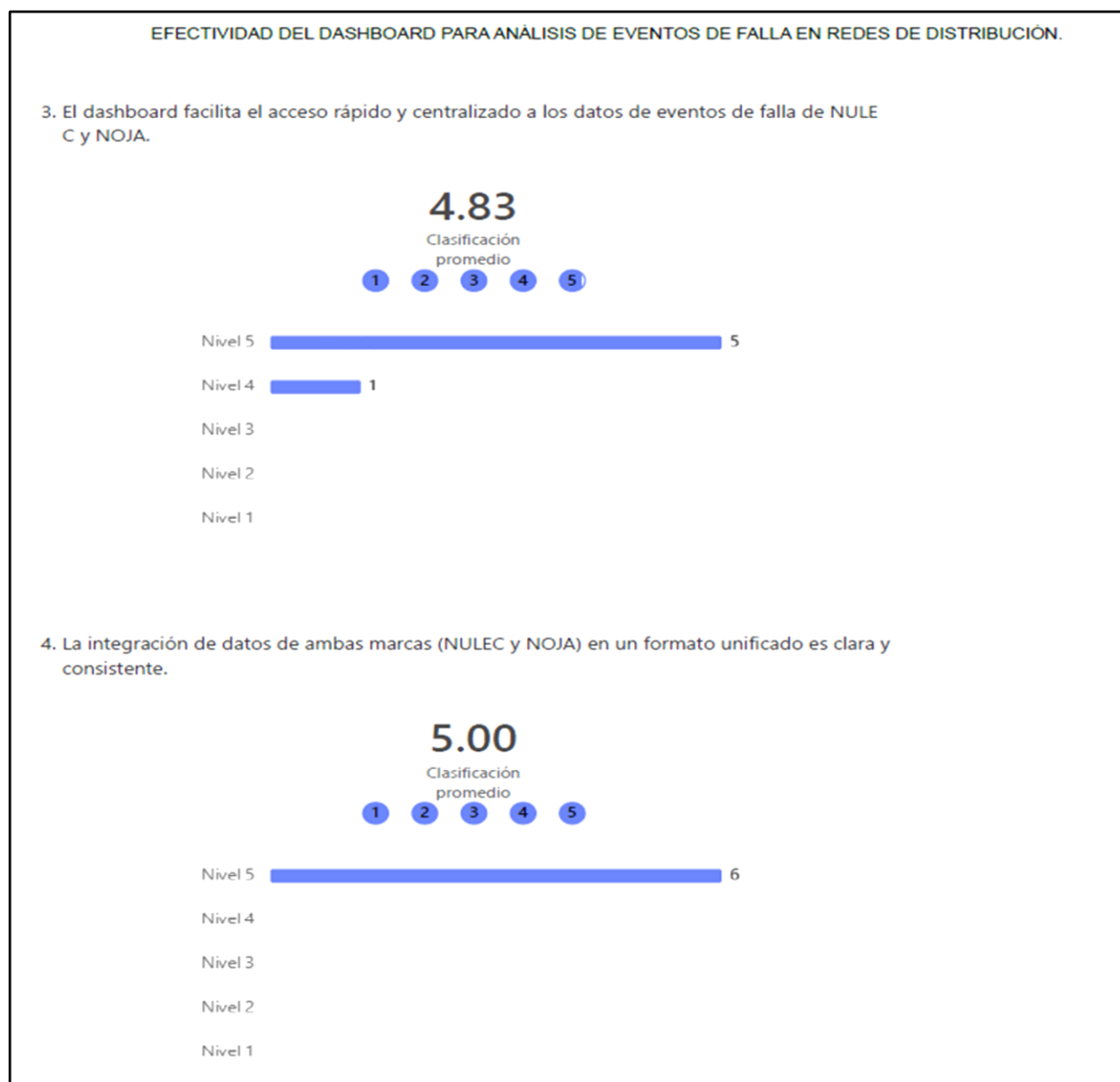
Resultado de la encuesta: Información general de los expertos participantes



Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde se identifica el perfil de los profesionales participantes, todos ingenieros encargados de procesos de mantenimiento, operación y áreas técnicas, el 50 % con más de 10 años de experiencia y ninguno con menos de un año de experiencia. Captura tomada de *Microsoft Forms*.

Figura 45

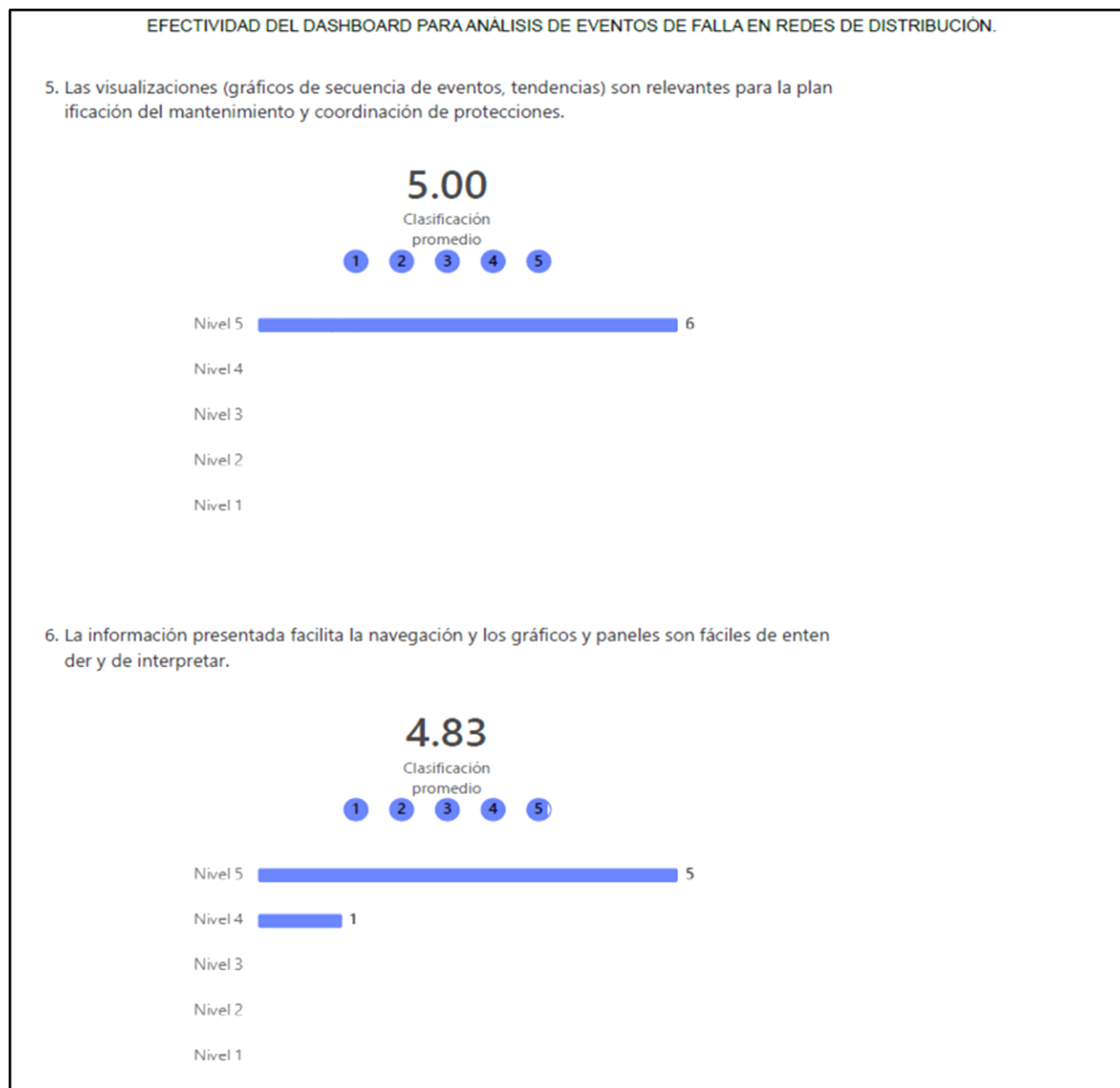
Resultado de la encuesta: Facilidad de acceso e integración de datos



Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde 11 de 12 respuestas obtuvieron la calificación más alta de la escala, evaluando la facilidad de acceso a los datos integrados de los eventos de falla expuestos en el *dashboard*. Captura tomada de *Microsoft Forms*.

Figura 46

Resultado de la encuesta: relevancia y facilidad de interpretación de gráficos



Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde 11 de 12 respuestas obtuvieron la calificación más alta de la escala, evaluando la relevancia de los gráficos y su facilidad de interpretación orientadas a la optimización de los procesos relacionados con el mantenimiento y la coordinación de protecciones. Captura tomada de *Microsoft Forms*

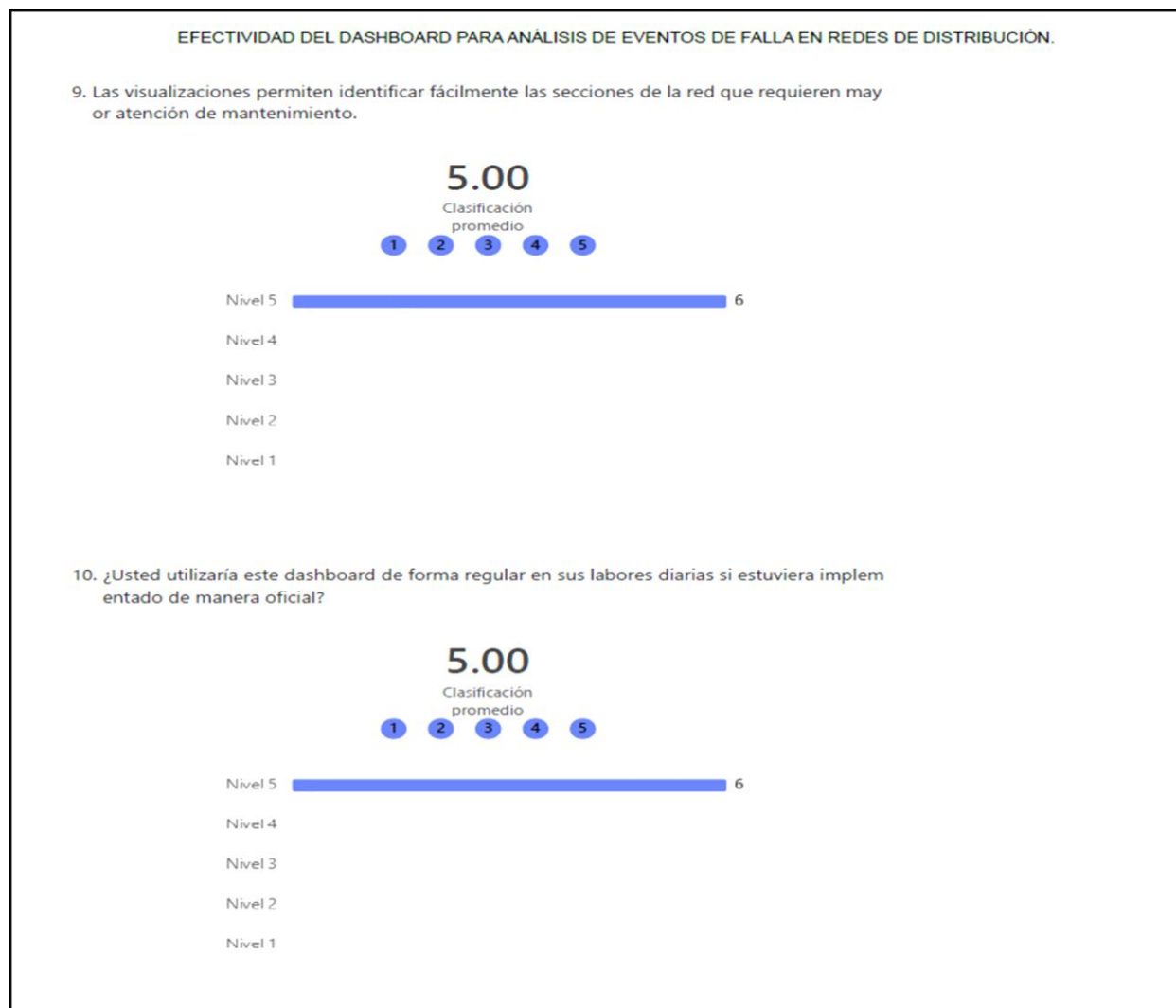
Figura 47 Resultado de la encuesta: Información centralizada y contribución a la optimización del análisis



Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde 11 de 12 respuestas obtuvieron la calificación más alta de la escala, evaluando la contribución centralizada a la optimización y precisión de los análisis requeridos por los procesos relacionados con el mantenimiento y la coordinación de protecciones. Captura tomada de *Microsoft Forms*.

Figura 48

Resultado de la encuesta: contribución al enfoque por sección e intensidad de uso



Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde 12 de 12 respuestas obtuvieron la calificación más alta de la escala, evaluando la contribución a la ubicación de la sección con mayor afectación y la intensidad de uso del *dashboard* en sus respectivos procesos. Captura tomada de *Microsoft Forms*

Figura 49

Resultado de la encuesta: pregunta abierta, aspectos positivos y negativos

11. ¿Cuáles son los aspectos más positivos o útiles y cuáles los negativos que encuentra en este dashboard?

6 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	Carlos Rodríguez Zuñiga	comprensión rápida por medio de gráficos, rápida de utilización, claridad de los datos
2	Mauricio Guzman Víquez	La herramienta nos permite actuar preventivamente
3	Eduardo Gómez Badilla	Es un dashbord muy importante para mejorar la atención de los circuitos que podíamos tener fallas en aspectos de mantenimiento.
4	Jorge Eduardo González Calderón	Este dashboard permite visualizar el comportamiento de las operaciones de protección de los equipos que se encuentra distribuidos por toda la red eléctrica, un gran aporte de esta solución es que permite conocer la cantidad de interrupciones momentáneas que cada equipo ha realizado en un periodo de tiempo determinado, pudiéndose diseñar y calcular algunos indicadores de calidad en la continuidad del suministro eléctrico el cual es afectado por interrupciones momentáneas (< 5 minutos).
5	Carlos A. Cordero Badilla	Fácil interpretación de datos, resumen ejecutivo de eventos por sección, permite atención más dirigida al problema
6	Mario Alonso Betancourt Cortés	Con esta herramienta se puede analizar cuál es la sección donde surgen problemas de calidad de servicio eléctrico los cuales se puede analizar la falta de mantenimiento en la red y los equipos que la conforman.

Nota: La imagen representa una captura del resultado de la encuesta en donde no se exponen aspectos negativos y se destaca la fácil comprensión y el potencial de uso para el análisis enfocado del mantenimiento de la red. Captura tomada de *Microsoft Forms*

6.5. Apéndice E: *Script* de transformación de datos

Los *scripts* desarrollados en el proceso de transformación de datos se exponen en presente apéndice. Las figuras (**Figura 50** y la **Figura 51**) muestran los *scripts* de limpieza inicial de los datos generados por los equipos de marca NULEC y NOJA, respectivamente. De seguido y partiendo de la limpieza inicial, la **Figura 52** y la **Figura 53** detallan las transformaciones de datos para cada marca de reconectores en estudio. Por último, la **Figura 54** y la **Figura 55** exponen los *scripts* de unificación y agrupamiento de datos requeridos para la posterior diseño de las visualizaciones.

6.5.1. Script de limpieza de datos en archivos CSV de reconectador marca

NULEC

Figura 50

Script de limpieza de datos de los archivos CSV del reconectador marca NULEC

```

Editor avanzado

1  let
2  Origen = SharePoint.Files("https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE",
3  #"Filtra la carpetas, nombre y extenxion de datos NULEC" = Table.SelectRows(Origen, each [Extension] = "EventLog.csv" and not Text.Contains([Folder Path], "Histor
4  #"Extrae en nombre del Equipo" = Table.ReplaceValue(#"Filtra la carpetas, nombre y extenxion de datos NULEC", "EventLog.csv", "Equipo", ReplaceText, {"Folder Path"}),
5  #"Limpia nombre del Equipo" = Table.ReplaceValue(#"Extrae en nombre del Equipo", "/", "", ReplaceText, {"Folder Path"}),
6  #"Archivos ocultos filtrados" = Table.SelectRows(#"Limpia nombre del Equipo", each [Attributes] <> "Hidden"),
7  #"Invocar función personalizada" = Table.AddColumn(#"Archivos ocultos filtrados", "Transformar", each => {
8  #"Se han quitado otras no usadas" = Table.SelectColumns(#"Invocar función personalizada", {"Data", "IdEvento", "Fecha", "Hora", "Equipo", "Fuente"}),
9  #"Errores quitados" = Table.RemoveRowsWithErrors(#"Se han quitado otras no usadas", {"Transformar"}),
10 #"Columna de tabla expandida" = Table.ExpandTableColumn(#"Errores quitados", "Transformar", {"Data", "IdEvento", "Fecha", "Hora", "Equipo", "Fuente"}, {"Data", "IdEvento", "Fecha", "Hora", "Equipo", "Fuente"}),
11 #"Cambio de tipo de datos numérico y texto" = Table.TransformColumnTypes(#"Columna de tabla expandida", {{"Data", Text}, {"IdEvento", Text}, {"Fecha", Text}, {"Hora", Text}, {"Equipo", Text}, {"Fuente", Text}}),
12 #"Unifica formato de fecha hora con columna de milisegundos" = Table.AddColumn(#"Cambio de tipo de datos numérico y texto", "FechaHora", each => {
13 #"Duplica fecha con Formato original 1900" = Table.DuplicateColumn(#"Unifica formato de fecha hora con columna de milisegundos", "Fecha", "Fecha1900", true),
14 #"Cambia Fecha/Hora a Txt para crear el IdEvento" = Table.TransformColumnTypes(#"Duplica fecha con Formato original 1900", {{"Fecha1900", Text}, {"Fecha", Text}, {"Hora", Text}}, {"Fecha1900", "Fecha1900_Txt", "Fecha", "Fecha", "Hora", "Hora"}),
15 #"Agrega Identificador Único , IdEvento" = Table.AddColumn(#"Cambia Fecha/Hora a Txt para crear el IdEvento", "IdEvento", each => {
16 #"Retorna Fecha/Hora a decimal" = Table.TransformColumnTypes(#"Agrega Identificador Único , IdEvento", {{"Fecha1900_Txt", Text}, {"Fecha", Text}, {"Hora", Text}}, {"Fecha1900_Txt", "Fecha1900_Txt", "Fecha", "Fecha", "Hora", "Hora"}),
17 #"Cambia Fecha/Hora a formato Hora con Presicion milisegundos" = Table.TransformColumnTypes(#"Retorna Fecha/Hora a decimal", {{"Fecha1900_Txt", Text}, {"Fecha", Text}, {"Hora", Text}}, {"Fecha1900_Txt", "Fecha1900_Txt", "Fecha", "Fecha", "Hora", "Hora"}),
18 #"Etiqueta columna de Equipo, Evento y Fuente" = Table.RenameColumns(#"Cambia Fecha/Hora a formato Hora con Presicion milisegundos", {"Fecha1900_Txt", "Fecha1900_Txt", "Fecha", "Fecha", "Hora", "Hora"}, {"Fecha1900_Txt", "Fecha1900_Txt", "Fecha", "Fecha", "Hora", "Hora"}),
19 #"Se han quitado otras columnas no usadas." = Table.SelectColumns(#"Etiqueta columna de Equipo, Evento y Fuente", {"Data", "IdEvento", "Fecha", "Hora", "Equipo", "Fuente"}),
20 in
21 #"Se han quitado otras columnas no usadas."

```

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la extracción y limpieza de los archivos CSV de los equipos marca NULEC. Captura tomada de *Power Query*

6.5.2. Script de limpieza de datos en archivos XLSX de reconectador marca

NOJA

Figura 51

Script de limpieza de datos de los archivos XLSX del reconectador marca NOJA

```

1  let
2  Origen = SharePoint.Files("https://icetel.sharepoint.com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE",
3  #"Filtrar la carpetas, nombre y extenxion de datos NULEC" = Table.SelectRows(Origen, each [Extens
com/teams/EquiposEspecialesRB-ConexinEE/Documentos compartidos/Conexión EE/CMS/") and Text.Co
"Historico")),
4  #"Extrae en nombre del Equipo" = Table.ReplaceValue(#"Filtrar la carpetas, nombre y extenxion de
{"Name"}),
5  #"Archivos ocultos filtrados" = Table.SelectRows(#"Extrae en nombre del Equipo", each [Attribut
6  #"Invocar función personalizada" = Table.AddColumn(#"Archivos ocultos filtrados", "Transformar
7  #"Se han quitado otras columnas." = Table.SelectColumns(#"Invocar función personalizada", {"Nam
8  #"Columna de tabla expandida" = Table.ExpandTableColumn(#"Se han quitado otras columnas.", "Tra
{"Archivo de ejemplo (2)"})),
9  #"Cambio de tipo de datos numérico y texto" = Table.TransformColumnTypes(#"Columna de tabla exp
text}}, {"Inicio / Fin", type text}}, {"Fuente del Evento", type text}}, {"Fase Relevante", type
{"ID del Registro ", type text
10 })),
11 #"Etiqueta columna de Equipo y Evento" = Table.RenameColumns(#"Cambio de tipo de datos numérico
del Evento", "Evento"}, {"Fuente del Evento", "Fuente"})),
12 #"Columnas con nombre cambiado" = Table.RenameColumns(#"Etiqueta columna de Equipo y Evento", {
13 #"Agrega identificador Único de Evento" = Table.AddColumn(#"Columnas con nombre cambiado", "IdE

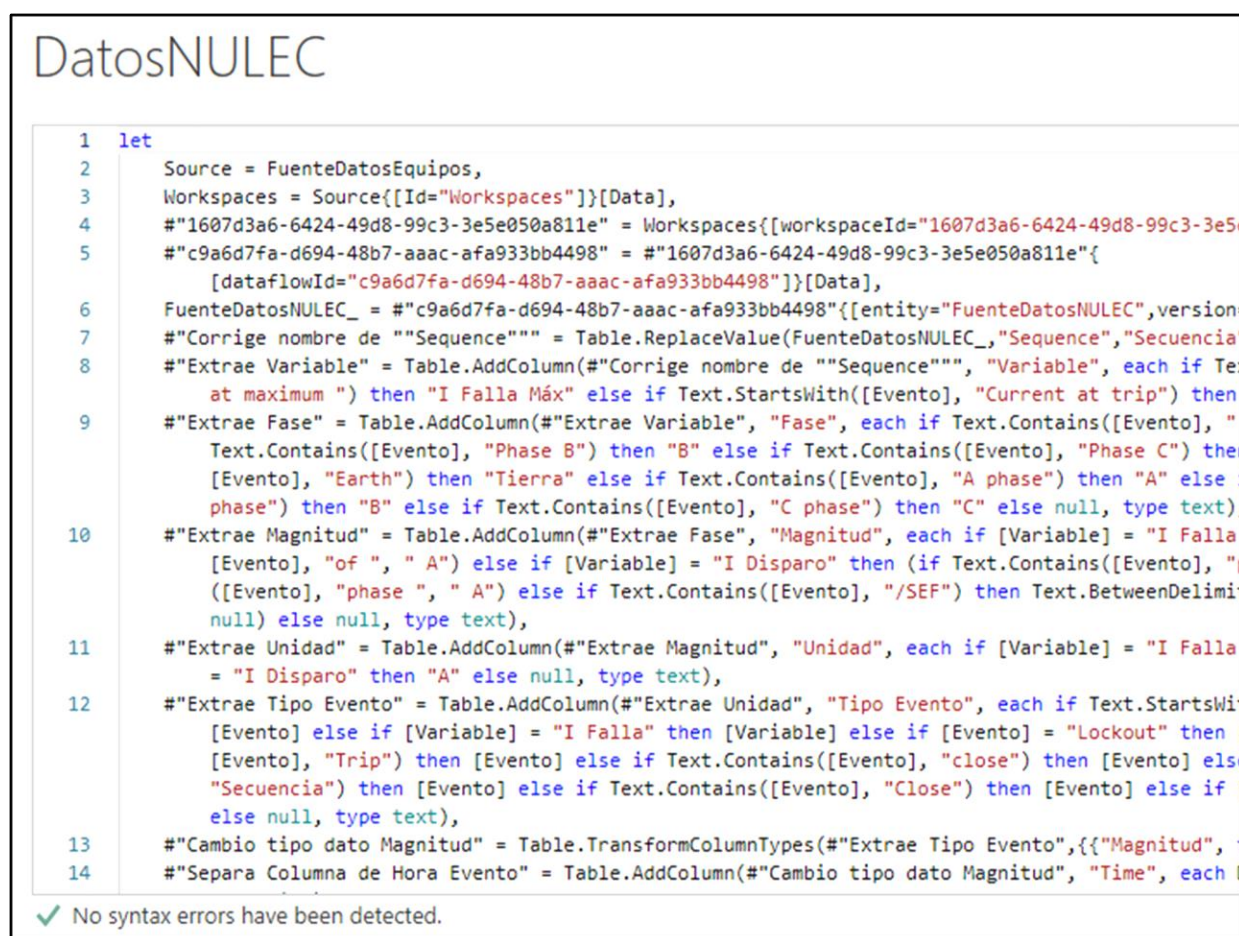
```

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la extracción y limpieza de los archivos XLSX de los equipos marca NOJA. Captura tomada de *Power Query*

6.5.3. Script de transformación de datos en archivos CSV de reconectador marca NULEC

Figura 52

Script de transformación de datos de los archivos CSV del reconectador marca NULEC



```

1  let
2      Source = FuenteDatosEquipos,
3      Workspaces = Source{[Id="Workspaces"]}[Data],
4      #"1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e" = Workspaces{[workspaceId="1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e"]},
5      #"c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498" = #"1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e"{
6          [dataflowId="c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498"]}[Data],
7      FuenteDatosNULEC_ = #"c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498"{[entity="FuenteDatosNULEC",version="1.0"]},
8      #"Corrige nombre de ""Sequence"" = Table.ReplaceValue(FuenteDatosNULEC_,"Sequence","Secuencia",
9      #"Extrae Variable" = Table.AddColumn(#"Corrige nombre de ""Sequence""", "Variable", each if Text
10         at maximum ") then "I Falla Máx" else if Text.StartsWith([Evento], "Current at trip") then
11         Text.Contains([Evento], "Phase B") then "B" else if Text.Contains([Evento], "Phase C") then
12         [Evento], "Earth") then "Tierra" else if Text.Contains([Evento], "A phase") then "A" else if
13         phase") then "B" else if Text.Contains([Evento], "C phase") then "C" else null, type text),
14         [Evento], "of ", " A") else if [Variable] = "I Disparo" then (if Text.Contains([Evento], "p
15         ([Evento], "phase ", " A") else if Text.Contains([Evento], "/SEF") then Text.BetweenDelimit
16         null) else null, type text),
17         #"Extrae Unidad" = Table.AddColumn(#"Extrae Magnitud", "Unidad", each if [Variable] = "I Falla
18         = "I Disparo" then "A" else null, type text),
19         #"Extrae Tipo Evento" = Table.AddColumn(#"Extrae Unidad", "Tipo Evento", each if Text.StartsWith
20         [Evento] else if [Variable] = "I Falla" then [Variable] else if [Evento] = "Lockout" then
21         [Evento], "Trip") then [Evento] else if Text.Contains([Evento], "close") then [Evento] else
22         "Secuencia") then [Evento] else if Text.Contains([Evento], "Close") then [Evento] else if
23         else null, type text),
24         #"Cambio tipo dato Magnitud" = Table.TransformColumnTypes(#"Extrae Tipo Evento",{{"Magnitud", t
25         #"Separa Columna de Hora Evento" = Table.AddColumn(#"Cambio tipo dato Magnitud", "Time", each

```

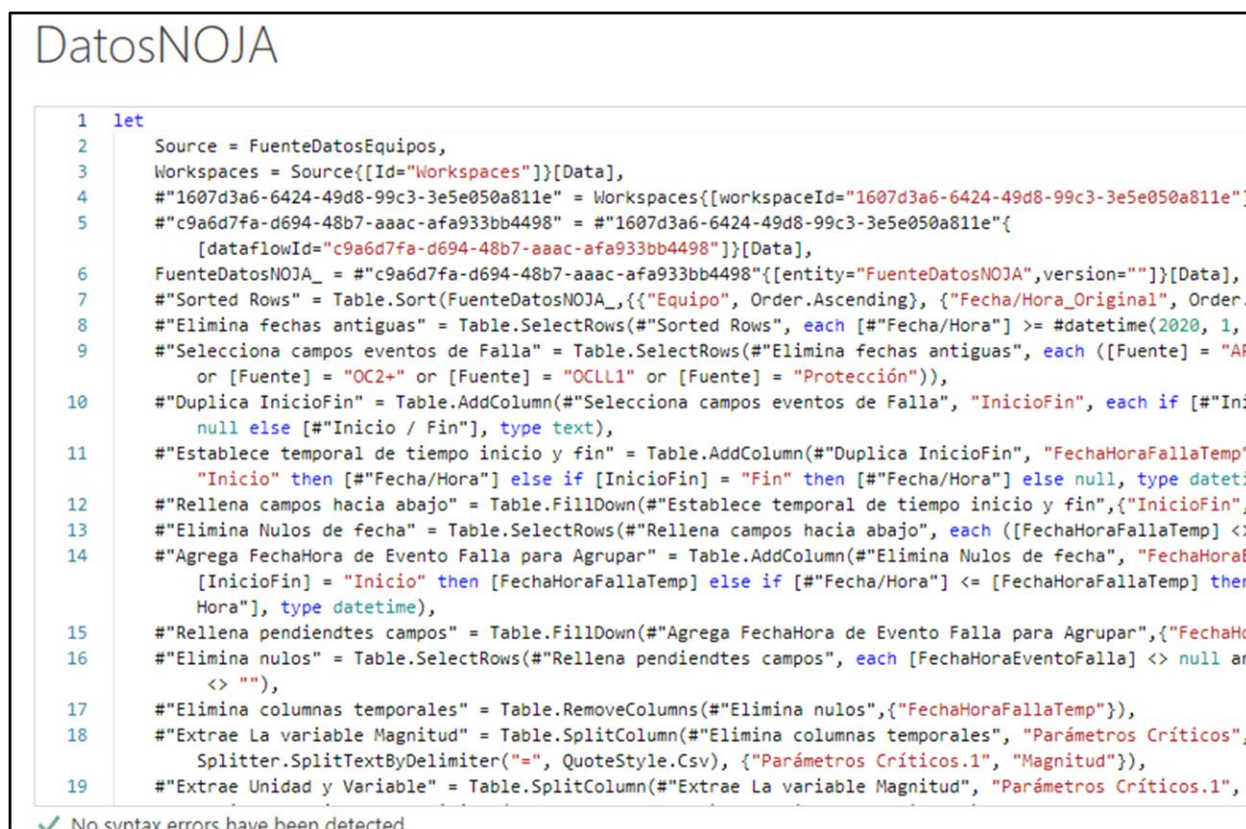
✓ No syntax errors have been detected.

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la transformación de datos de los archivos CSV de los equipos marca NULEC. Captura tomada de *Power Query*

6.5.4. Script de transformación de datos en archivos XLSX de reconector marca NOJA

Figura 53

Script de transformación de datos de los archivos XLSX del reconector marca NOJA



```

1  let
2      Source = FuenteDatosEquipos,
3      Workspaces = Source{[Id="Workspaces"]}[Data],
4      #"1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e" = Workspaces{[workspaceId="1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e"]},
5      #"c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498" = #"1607d3a6-6424-49d8-99c3-3e5e050a811e">{
6          [dataflowId="c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498"]}[Data],
7      FuenteDatosNOJA_ = #"c9a6d7fa-d694-48b7-aaac-afa933bb4498">{[entity="FuenteDatosNOJA",version=""]}[Data],
8      #"Sorted Rows" = Table.Sort(FuenteDatosNOJA_,{{"Equipo", Order.Ascending}, {"Fecha/Hora_Original", Order.
9      #"Elimina fechas antiguas" = Table.SelectRows("#Sorted Rows", each [#"Fecha/Hora"] >= #datetime(2020, 1,
10     #"Selecciona campos eventos de Falla" = Table.SelectRows("#Elimina fechas antiguas", each ([Fuente] = "AR
11     or [Fuente] = "OC2+" or [Fuente] = "OCLL1" or [Fuente] = "Protección")),
12     #"Duplica InicioFin" = Table.AddColumn("#Selecciona campos eventos de Falla", "InicioFin", each if [#"Ini
13     null else [#"Inicio / Fin"], type text),
14     #"Establece temporal de tiempo inicio y fin" = Table.AddColumn("#Duplica InicioFin", "FechaHoraFallaTemp
15     "Inicio" then [#"Fecha/Hora"] else if [InicioFin] = "Fin" then [#"Fecha/Hora"] else null, type dateti
16     #"Rellena campos hacia abajo" = Table.FillDown("#Establece temporal de tiempo inicio y fin",{"InicioFin"},
17     #"Elimina Nulos de fecha" = Table.SelectRows("#Rellena campos hacia abajo", each ([FechaHoraFallaTemp] <>
18     #"Agrega FechaHora de Evento Falla para Agrupar" = Table.AddColumn("#Elimina Nulos de fecha", "FechaHoraE
19     [InicioFin] = "Inicio" then [FechaHoraFallaTemp] else if [#"Fecha/Hora"] <= [FechaHoraFallaTemp] then
20     Hora"], type datetime),
21     #"Rellena pendientes campos" = Table.FillDown("#Agrega FechaHora de Evento Falla para Agrupar",{"FechaHo
22     #"Elimina nulos" = Table.SelectRows("#Rellena pendientes campos", each [FechaHoraEventoFalla] <> null an
23     <> ""),
24     #"Elimina columnas temporales" = Table.RemoveColumns("#Elimina nulos",{"FechaHoraFallaTemp"}),
25     #"Extrae La variable Magnitud" = Table.SplitColumn("#Elimina columnas temporales", "Parámetros Críticos",
26     Splitter.SplitTextByDelimiter("=", QuoteStyle.Csv), {"Parámetros Críticos.1", "Magnitud"}),
27     #"Extrae Unidad y Variable" = Table.SplitColumn("#Extrae La variable Magnitud", "Parámetros Críticos.1",

```

✓ No syntax errors have been detected

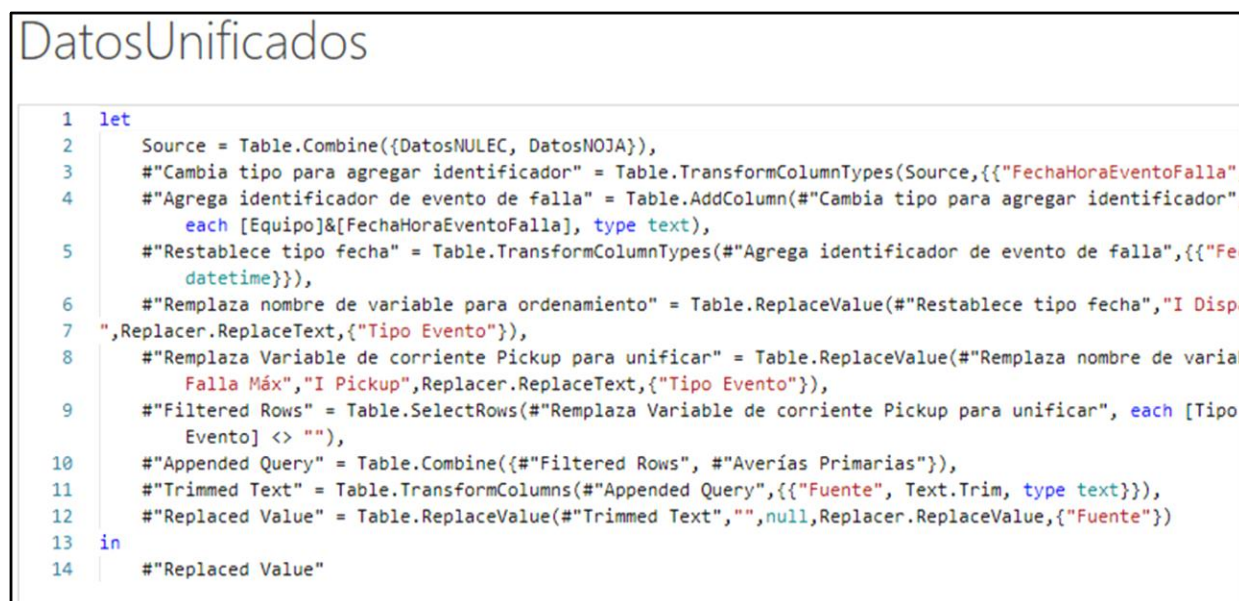
Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la transformación de datos de los archivos XLSX de los equipos marca NOJA. Captura tomada de *Power Query*

6.5.5. Script de unificación de datos en archivos de reconectadores marca

NOJA y NULEC

Figura 54

Script de unificación de datos de los archivos CSV y XLSX de los reconectadores marca NULEC y NOJA



```

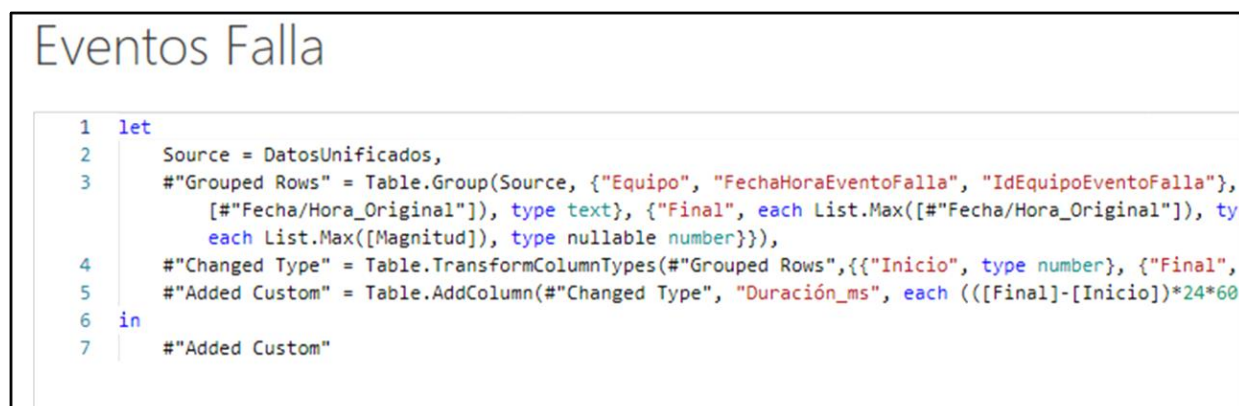
1  let
2      Source = Table.Combine({DatosNULEC, DatosNOJA}),
3      #"Cambia tipo para agregar identificador" = Table.TransformColumnTypes(Source,{{"FechaHoraEventoFalla",
4      #"Agrega identificador de evento de falla" = Table.AddColumn(#"Cambia tipo para agregar identificador",
5          each [Equipo]&[FechaHoraEventoFalla], type text),
6      #"Restablece tipo fecha" = Table.TransformColumnTypes(#"Agrega identificador de evento de falla",{{"FechaHoraEventoFalla", type datetime}},
7      #"Reemplaza nombre de variable para ordenamiento" = Table.ReplaceValue(#"Restablece tipo fecha", "I Disponible", Replacer.ReplaceText, {"Tipo Evento"}),
8      #"Reemplaza Variable de corriente Pickup para unificar" = Table.ReplaceValue(#"Reemplaza nombre de variable de corriente Pickup", "Falla Máx", "I Pickup", Replacer.ReplaceText, {"Tipo Evento"}),
9      #"Filtered Rows" = Table.SelectRows(#"Reemplaza Variable de corriente Pickup para unificar", each [Tipo Evento] <> ""),
10     #"Appended Query" = Table.Combine({#"Filtered Rows", #"Averías Primarias"}),
11     #"Trimmed Text" = Table.TransformColumns(#"Appended Query",{{"Fuente", Text.Trim, type text}}),
12     #"Replaced Value" = Table.ReplaceValue(#"Trimmed Text", "", null, Replacer.ReplaceValue, {"Fuente"})
13 in
14     #"Replaced Value"
  
```

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con la unificación de datos de los archivos CSV y XLSX de los equipos marca NULEC y NOJA respectivamente. Captura tomada de *Power Query*

6.5.6. Script de agrupamiento de eventos de falla unificados

Figura 55

Script de agrupamiento de eventos de falla unificados para reconectores marca NULEC y NOJA



The image shows a screenshot of a Power Query script editor window titled "Eventos Falla". The script is written in M language and is as follows:

```

1 let
2     Source = DatosUnificados,
3     #"Grouped Rows" = Table.Group(Source, {"Equipo", "FechaHoraEventoFalla", "IdEquipoEventoFalla"},
4     [{"Fecha/Hora_Original"}, type text}, {"Final", each List.Max([#"Fecha/Hora_Original"]), type
5     each List.Max([Magnitud]), type nullable number}}),
6     #"Changed Type" = Table.TransformColumnTypes(#"Grouped Rows",{{"Inicio", type number}, {"Final",
7     #"Added Custom" = Table.AddColumn(#"Changed Type", "Duración_ms", each (([Final]-[Inicio])*24*60)
8     in
9     #"Added Custom"
```

Nota: La imagen representa una captura de la herramienta ETL Power Query con el agrupamiento de datos unificados de los archivos CSV y XLSX de los equipos marca NULEC y NOJA respectivamente. Captura tomada de *Power Query*

6.6. Apéndice F: Glosario de términos

Este glosario define los términos técnicos claves utilizados a lo largo de la presente investigación con el fin de facilitar la comprensión del contenido a lectores no especializados en el campo de las redes de distribución eléctrica y la visualización de datos.

- **ADMS (Advanced Distribution Management System):** Sistema avanzado de gestión de distribución que integra diversas herramientas para mejorar la operación, monitoreo y control de la red eléctrica, incluyendo sistemas de censado e integración de datos.
- **Análisis Correlacional:** Tipo de alcance de investigación no experimental que busca examinar la relación o grado de asociación entre dos o más variables sin establecer relaciones de causa y efecto directas.
- **ARESEP (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos):** Entidad reguladora del sector energético en Costa Rica responsable de supervisar y regular la calidad de los servicios públicos, incluyendo la distribución de electricidad.
- **Ciclos de reconexión:** Serie de operaciones de apertura y cierre automáticos que realiza un reconectador para verificar si una falla es transitoria o permanente, intentando restablecer el servicio.
- **CLOR (Centro Local de Operaciones de la Red):** Parte del Área de Operación del ICE que alerta sobre equipos con continuas operaciones anormales.
- **CMS (Control and Management Software):** Software de gestión propietario de la marca NOJA para la configuración, el control y el monitoreo de sus reconectadores automáticos.

- **Confidencialidad:** Pilar de la seguridad de la información que asegura que la información solo sea accesible para las personas autorizadas.
- **Coordinación de protecciones:** Proceso de selección y ajuste de los dispositivos de protección en un sistema eléctrico para asegurar que la falla sea aislada de la manera más rápida y selectiva posible, minimizando las interrupciones del servicio.
- **Corriente de falla:** Flujo de corriente anormalmente elevado que se produce cuando un defecto (cortocircuito o falla a tierra) altera la trayectoria normal de la corriente en un circuito eléctrico.
- **CSV (Comma Separated Values):** Formato de archivo de texto plano donde los valores de los datos están separados por comas, ampliamente utilizado para el intercambio de datos.
- **Dashboard interactivo:** Herramienta de software que integra y visualiza datos en paneles gráficos dinámicos, lo cual permite a los usuarios el interactuar con la información para explorar y analizar datos de manera ágil.
- **DAX (Data Analysis Expressions):** Lenguaje de fórmulas utilizado en Power BI para crear cálculos, medidas y columnas personalizadas en modelos de datos.
- **Disponibilidad:** Pilar de la seguridad de la información que garantiza que los usuarios autorizados tengan acceso a la información y los sistemas cuando lo necesiten.
- **DPIR (Duración Promedio de Interrupciones Promedio de la Red):** Indicador de continuidad del servicio eléctrico que mide el tiempo promedio que dura cada interrupción del servicio eléctrico.
- **ETL (Extracción, transformación y carga):** Proceso que implica extraer datos de diversas fuentes, transformarlos a un formato y estructura comunes, y cargarlos en un repositorio o modelo de datos para su análisis.

- **Falla transitoria:** Tipo de falla que se elimina por sí sola o mediante la operación de reconectadores, causada por eventos temporales.
- **Integridad:** Pilar de la seguridad de la información que mantiene la exactitud y completitud de la información, evitando su modificación o destrucción no autorizada.
- **Inventario DDyC - SIRDE:** Sistema de información del ICE que contiene datos sobre la topología y configuración de la red, así como la identificación y ubicación de equipos.
- **Mediciones inteligentes:** Uso de tecnologías avanzadas de medición y comunicación (ej. medidores inteligentes) para obtener información en tiempo real sobre el consumo y la calidad del servicio eléctrico.
- **Modelo de datos unificado:** Representación estructurada y consistente de datos provenientes de diversas fuentes y formatos heterogéneos después de un proceso de integración.
- **Power BI:** Plataforma de análisis empresarial de Microsoft utilizada para conectar, transformar, modelar, visualizar y analizar datos, creando informes y paneles interactivos.
- **Power Query:** Herramienta de ETL integrada en Microsoft Excel y Power BI, y utilizada para importar, limpiar, transformar y combinar datos de diversas fuentes.
- **Reconectador (Recloser):** Dispositivo de protección automático diseñado para interrumpir y restablecer el servicio eléctrico en redes de distribución, aislando secciones en falla para garantizar la continuidad del servicio en sectores no fallados.

- **Redes inteligentes (Smart Grids):** Redes de distribución eléctrica que utilizan tecnologías de comunicación y control avanzadas para mejorar la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad del sistema.
- **SCADA (Supervisión, control y adquisición de datos):** Sistema que permite monitorear y controlar procesos industriales a distancia, incluyendo operación de redes eléctricas y adquisición de datos en tiempo real.
- **Selectividad (protecciones):** Capacidad de un sistema de protección para aislar únicamente la parte de la red afectada por la falla, minimizando las interrupciones en otras áreas.
- **SharePoint institucional:** Plataforma de colaboración y gestión documental de Microsoft utilizada en el ICE para el almacenamiento centralizado de archivos y documentos.
- **SIRDE (Sistema de Información de la Red de Distribución Eléctrica):** Sistema del ICE que contiene información técnica y operativa de la red de distribución.
- **Software propietario:** Software desarrollado y licenciado por un fabricante específico de hardware (por ejemplo, NULEC, NOJA) para la gestión y descarga de datos de sus dispositivos.
- **VISOR SIRDE V6:** Sistema de visualización georreferenciado de la División de Distribución y Comercialización (DDyC) del ICE.
- **WSOS (Windows Switchgear Operating System):** Software de gestión propietario de la marca NULEC para la configuración, el control y el monitoreo de sus reconectadores automáticos.