



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

**TRABAJO DESARROLLADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGNIERO EN MECATRÓNICA**

autor

**JOSÉ LUIS DÍAZ TORRES**

Director

**DIEGO MEJIA BUGALLO**

M. Sc. Control Industrial

Tutor

**MANUEL ANTONIO RINCÓN VARGAS**

Ing. Electromecánico

**INGENIERÍA MECATRÓNICA  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

**DEDICATORIA**

Primeramente a Dios, pues todo se lo debo a él.

A mi familia, porque soy el resultado de todos sus esfuerzos, ayuda y paciencia.



## **DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

### **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente darle gracias a Dios, por permitirme alcanzar una etapa más en mi vida.

A mis padres Laurentino Diaz y Ana Torres, por confiar en mí, por su apoyo incondicional, a mi hermano por ser un gran amigo, que al igual que mis padres me ayudo durante este proceso, a mi hermana y mis sobrinas por su comprensión y ejemplo de superación.

Agradezco a mi tutor, Ms Diego Mejía Bugallo, por su apoyo, paciencia y asesoramiento, al Ing Manuel Rincón por asesorarme en el desarrollo de las prácticas y darme la oportunidad de trabajar en tan grandiosa empresa.

Por ultimo; pero no menos importante, darle mi gratitud a todos los docentes que me guiaron durante mi vida académica, a mis compañeros de estudios, amigos y al personal de la empresa, por brindarme su amabilidad y apoyo.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

### RESUMEN

Este trabajo pretende desarrollar la coordinación de protecciones a nivel de seccionadores aguas abajo del Reconectador S0402 (San Carlos), en las veredas del municipio de Arauca, asociadas al alimentador 4 de la zona centro perteneciente a la empresa de energía eléctrica del departamento de Arauca (Enelar), con el fin de despejar las fallas de manera autónoma, mediante los fusibles instalados en los seccionadores, para ello se conoce el funcionamiento del sistema, sus componentes, y condiciones de riesgo a los que están expuestos, adicionalmente se realiza un análisis de datos asociados a los eventos de no continuidad del servicio, con el fin de conocer los valores históricos de fallas, sus causas e informaciones de las protecciones.

Seguidamente se usó el programa SPARD, el cual posee la empresa para parametrizar la red de distribución del departamento, para realizar análisis de flujo de carga y corrientes de cortocircuito, a su vez que se tiene en cuenta el factor de utilización, el cual indica la carga que se usa, se establecen valores iniciales para configurar los valores de los fusibles en los seccionadores.

Además se utiliza el programa ETAP, debido a que se cuenta con la librería de la marca de los fusibles implementados, con el fin de visualizar inicialmente la configuración de los componentes de protección que se encuentran en campo, con el fin de realizar la propuesta soportada en los criterios de coordinación, evidenciando mediante las curvas de tiempo-corriente.

**Palabras claves:** energía, distribución, subestación, automatización, protección.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

### Contenido

1.	Descripción del proyecto .....	10
1.1.	Introducción.....	10
1.2.	Marco de la pasantía.....	11
1.3.	Planteamiento del problema y Justificación.....	12
1.4.	OBJETIVOS .....	13
1.5.	DELIMITACIONES.....	14
2.	Marco Teórico .....	15
2.1.	Funcionamiento del sistema eléctrico .....	15
2.2.	Componentes del sistema eléctrico de distribución.....	16
o	Transformadores de potencia.....	17
o	Transformadores de distribución.....	17
o	Transformadores de medida o de instrumentación .....	18
2.3.	Estudio de la interrupción del fluido eléctrico.....	23
2.4.	Protecciones .....	29
o	Selectividad amperimétrica .....	31
	Denominados lentos o retardados, los cuales poseen una relación de velocidad de entre 10 y 13, y soportan corrientes transitorias mayores. ....	34
2.5.	Software .....	35
3.	Descripción del proyecto .....	37
3.1.	Ubicación.....	37
3.2.	Enelar ESP .....	37
3.3.	Alcance de la coordinación.....	39
	Este ramal está compuesto por 8 seccionadores, todos del tipo H, es decir extra rápidos, por lo que nos da in primer indicio de baja coordinación, adicionalmente de un reconectador, el cual se configura mediante el programa WSOS, el cual le permite gestionar la cantidad de protecciones, su tipo de protección y configuración.....	41
4.	Desarrollo.....	43
4.1.	SPARD.....	43
4.2.	Flujo de carga.....	44
4.3.	Simulación de cortocircuito .....	45
4.4.	Ajuste y simulación de fusibles.....	45



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

4.5.	Análisis de la configuración del reconectador .....	55
4.6.	Propuesta final.....	56
5.	Conclusiones.....	59
	Anexo A: Placa de propiedades de los transformadores del municipio de Arauca .....	63
	Anexo B: Reporte de fallas.....	65
	Anexo C: Estudio de flujo de carga con SPARD Distribution.....	66
	Anexo D: Análisis de cortocircuito con SPARD Distribution.....	67
	Anexo E: Programa desarrollado para llevar historial de las estructuras de las líneas .....	68
	Anexo F: Programa analizador de eventos .....	70
	Anexo G: Transformador de potencia ABB, de la subestación Arauca.....	72
	Anexo H: HMI del reconectador S0402 – San Carlos.....	73
	Anexo I: Celda del relé Sepam 40 del Alimentador 4 .....	74



# Índice de figuras.

Ilustración 1: Etapas del sistema eléctrico.....	16
Ilustración 2: Transformador de potencia .....	17
Ilustración 3: Transformador de distribución instalado en poste. ....	18
Ilustración 4: DPS .....	19
Ilustración 5: A la izquierda, cortacircuito para desarrollar seccionador por fusible de expulsión, a la derecha, su símbolo representativo. ....	19
Ilustración 6: Perfil de una curva tiempo-corriente (TCC) .....	20
Ilustración 7: Símbolo representativo de seccionador basado en cuchilla.....	20
Ilustración 8: Reconectador, en la parte superior, dispositivo controlador, abajo, interruptor de potencia. ....	21
Ilustración 9: Familia de los relés SEPAM de Schneider Electric. ....	22
Ilustración 10: Rama próxima a la red de baja tensión, ante la presencia de aire, realiza contacto. ....	24
Ilustración 11: Variación de la corriente de falla con el tiempo. ....	24
Ilustración 12: Conexiones físicas posibles en la red de distribución y transmisión. ....	25
Ilustración 13: Circuito de presentación básico de un cortocircuito. ....	26
Ilustración 14: Componente AC y DC de una corriente de un cortocircuito.....	26
Ilustración 15: Diferencia entre una corriente de falla simétrica y asimétrica.....	27
Ilustración 16: Tipos de cortocircuito de conexión física clasificados en base a la simetría. ....	27
Ilustración 17: Corriente de cortocircuito, de acuerdo a su análisis. ....	28
Ilustración 18: Relación entre la distancia, la magnitud y el tipo de falla. ....	29
Ilustración 19: Mapa conceptual sobre confiabilidad. ....	30
Ilustración 20: A la izquierda una red con protecciones sin selectividad, en la derecha, red con selectividad. ....	30
Ilustración 21: Posición del fusible protector y protegido.....	34
Ilustración 22: Obtener parámetros, para establecer el criterio de coordinación fusible-fusible.....	34
Ilustración 23: Flujo de la información de los eventos. ....	36
Ilustración 24: Ubicación del municipio de Arauca. ....	37
Ilustración 25: Circuitos de la empresa de energía Enelar en el departamento de Arauca. ....	38
Ilustración 26: Alimentadores de la subestación Arauca. ....	38
Ilustración 27: Alimentadores asociados a Zona Centro. ....	39
Ilustración 28: Alimentador 4, en su ramal más largo, se va a realizar estudio de coordinación de protecciones.....	39
Ilustración 29: Circuito desde el Alimentador 4 hasta la vereda el Vapor.....	40
Ilustración 30: Diagrama unifilar del departamento de Arauca, desde el punto del STN hasta los alimentadores. ....	40
Ilustración 31: Diagrama unifilar de la subestación Arauca.....	41
Ilustración 32: Programa WSOS, para gestionar configuraciones del reconectador San Carlos. ....	42
Ilustración 33: Configuración actual de los seccionadores del ramal principal a las veredas. ....	42
Ilustración 34: Aplicaciones disponibles en el SPARD. ....	43



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

Ilustración 35: Panel para realizar flujo de carga radial balanceado.....	44
Ilustración 36: Panel para la configuración del análisis de cortocircuito por alimentador. ....	45
Ilustración 37: Análisis de coordinación de los seccionadores para la vereda el Vapor. ....	47
Ilustración 38: Análisis de coordinación de protecciones para los seccionadores Kaile y el vapor. ....	48
Ilustración 39 Análisis de configuración número 2 para coordinación de protecciones para los seccionadores Kaile y el Vapor.....	49
Ilustración 40: Configuración para fusibles del seccionador Olguín y Kaile .....	50
Ilustración 41: Propuesta de fusibles para el seccionador Costa Hermosa y Olguín .....	51
Ilustración 42: Muestra la incapacidad de coordinar un fusible tipo K de 20A con el de 15 A o de 25 A del mismo tipo. ....	53
Ilustración 43: Propuesta S2629 con tipo K de 25A y el S0080 de 15 A. ....	54
Ilustración 44: Software WSOS muestra configuración del trip 1. ....	55
Ilustración 45: Configuración del trip 4 del reconectador San Carlos .....	56
Ilustración 46: Propuesta de configuración con el tipo y valor de fusible.....	57
Ilustración 47: Grafica de Tiempo-Corriente de los fusibles de los seccionadores propuestos .....	58
Ilustración 48: Placa de datos del transformador de potencia Siemens .....	63
Ilustración 49: Placa de datos del transformador de potencia ABB.....	64
Ilustración 50: Datos en el documento de eventos.....	65
Ilustración 51: Información de flujo de carga generada por el SPARD Distribution. ....	66
Ilustración 52: Datos generados por el SPARD, con la aplicación de cortocircuito.....	67
Ilustración 53: Diferentes partes del programa de hoja de vida de líneas. ....	69
Ilustración 54: Estapas del programa "Analizador de eventos" .....	71
Ilustración 55: Transformador de potencia ABB de la subestación Arauca.....	72
Ilustración 56: HMI de un reconectador.....	73
Ilustración 57: Relé Sepam 40 del Alimentador 4. ....	74





# Índice de tablas

Tabla 1: Factor K para coordinación reconector - fusible, del lado de la carga. [27] .....	35
Tabla 2: Información de transformadores de potencia de la subestación Arauca. ....	41
Tabla 3: Corriente nominal y de cortocircuito de los seccionadores .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 4: Propuesta de protección para el ramal de las veredas. ....	56



# Capítulo 1

## 1. Descripción del proyecto

### 1.1. Introducción

El presente trabajo titulado “Diseño de una configuración para la coordinación de protecciones del alimentador 4 del sistema de distribución eléctrico del departamento de Arauca, Enelar ESP, enfocada al mejoramiento de la calidad del servicio en la Zona Centro.” consiste en la elaboración de una propuesta de configuración de protecciones, a nivel de seccionadores, basada en los criterios de coordinación, la cual permite que opere la protección adecuada y despeje la falla afectando la mínima cantidad de usuarios, sin que la misma se propague a la red aguas arriba.

Para ello, se realiza el desarrollo de un programa que facilite el análisis de eventos, se conoce el sistema de distribución y se implementa software de simulación y visualización de características requeridas en la selección de componentes de protección.



## 1.2. Marco de la pasantía

La base fundamental de esta práctica radica en los criterios de coordinación de protecciones, haciendo énfasis en el acoplamiento fusible-fusible y reanclador-fusible ya que son los componentes que intervienen en la protección del sector a estudiar.

Esto permite reducir el área afectada y evitar su propagación a otros sectores, además de evitar daños en componentes de distribución que podrían aumentar la cantidad de perjudicados y el tiempo para realizar el mantenimiento correctivo.



## 1.3. Planteamiento del problema y Justificación

El sector eléctrico se ha vuelto vital para nuestra sociedad, proporcionan el servicio es evaluado constantemente, por parte de las entidades de regulación y por sus clientes, quienes son los afectados cuando se interrumpe el servicio, esto se puede deber a muchos factores, como vandalismo, condiciones climáticas y/o ambientales adversas, mala planeación de mantenimiento, aves, etc. Por lo tanto hay condiciones que son responsabilidad única de la empresa, y que no se pueden evitar con mantenimiento preventivo, en este punto la falla se produce, por lo que la prioridad es evitar que se propague afectando a más usuarios de los que debería.

En la zona centro de la empresa, no se ha realizado estudio de coordinación de protecciones, por lo que ante una falla, se propaga, abriendo varios seccionadores aguas arriba, esto debido a los criterios, los cuales se basan en métodos empíricos, por ello es necesario realizar un estudio de coordinación para evitar que se propague, se establecen componentes de protección los cuales deben interactuar y operar de la manera óptima, con el fin de aislar la falla, para ello se debe realizar coordinación fusible-fusible para establecer el fusible protector y el fusible protegido, con el fin de establecer la secuencia de apertura de los seccionadores y adicionalmente realizar coordinación reconectador-fusible con el fin establecer la secuencia de operación y modo de actuación en base al tipo de falla y su magnitud.



## 1.4. OBJETIVOS

### ● OBJETIVO GENERAL

Diseñar una configuración para la coordinación de las protecciones del sistema de distribución del departamento de Arauca, Enelar ESP, enfocado al mejoramiento de la calidad del servicio en la zona centro.

### ● OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar informe, donde se detallen la duración, frecuencia y causas de los eventos registrados en los últimos meses en los circuitos asociados a las subestaciones de la zona centro de Enelar ESP.
- Presentar informe donde se detalle corriente nominal máxima y de cortocircuito, en los componentes del circuito piloto, con el fin de mostrar una mala coordinación.
- Validar el nuevo esquema mediante la exposición de los fusibles recomendados para la coordinación de protecciones basándose en los anteriores puntos y presentando las recomendaciones pertinentes.
- Presentar informe donde se justifique la coordinación de protecciones y recomendaciones pertinentes, como soporte para ser presentado ante un cirulo técnico, para su implementación.
- Desarrollar software que aumente la eficiencia en el desarrollo de las actividades de mantenimiento.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

## 1.5. DELIMITACIONES

- Se realiza en el municipio de Arauca.
- Se trabajara con base a los sistemas disponibles por la empresa.
- Sujeto a cambios de acuerdo a los requerimientos de la supervisión.
- Limitación de la información de acuerdo al ítem de confidencialidad del contrato aceptado entre las partes.



# Capitulo 2

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Funcionamiento del sistema eléctrico

La energía eléctrica, es un servicio público de alta demanda en nuestra actualidad, debido a la dependencia tecnológica, la cual requiere electricidad para su operación, nos permite vivir con los beneficios, comodidades y lujos que conocemos, adicionalmente ha establecido un sector en el cual se ha desarrollado toda una industria y base científica, con el fin de garantizar la continuidad del mismo a sus usuarios y demás sectores, desarrollando maquinas más eficientes, sistemas de protección más precisos, teorías de modelamiento y un gran recurso humano que están presentes en unas de sus etapas, las cuales son:

- **Generación**

Proceso basado en la ley de la conservación de la energía, esta no se crea ni se destruye, solo se transforma, es por ello, que se implementan máquinas que transforman diferentes formas de energía disponible en el medio ambiente o en base a hidrocarburos, para generar electricidad. Por lo general se implementan maquinas rotativas directas o accionadas por ciclos termodinámicos, aunque se ha visto auge en aquellas basadas en reacciones químicas, como es el caso de la fotovoltaica.

- **Transmisión**

Transportar desde las centrales generadoras hasta los centros de consumos, grandes cantidades de producto a grandes distancias y con pérdidas mínimas, se compone en dos partes:

- **Sistema de Transmisión Nacional (STN)**

Transmite voltajes iguales o superiores a 220kV.

- **Sistema de Transmisión Regional (STR)**

Conducen energía con tensiones mayores a 57,5 kV y menores a 220 kV.

- **Distribución**

Conduce energía eléctrica con valores menores al sistema de transmisión, inicia desde el punto donde culmina el STN, hasta el punto de entrada a las instalaciones del consumidor final, se le conoce como el Sistema de Distribución Local (SDL).

- **Comercialización**

Es la actividad de comprar grandes cantidades de energía a los productores para venderlas a los usuarios, si una empresa solo realiza comercialización, además debe pagar la cuota de transmisión y distribución. La comercialización como es la que realiza un proceso de compra y venta, desempeña el papel de intermediaria entre sus clientes que son cada hogar, empresa o industria del sector, y las partes nombradas anteriormente, por lo que tiene la responsabilidad directa de atender a los usuarios, ante cualquier pregunta, queja, reclamo o sugerencia.



*Ilustración 1: Etapas del sistema eléctrico [1]*

## 2.2. Componentes del sistema eléctrico de distribución

Componentes que afectan al sistema eléctrico de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas y eléctricas, que pueden influir en las magnitudes eléctricas del sistema eléctrico, los cuales son:

- **Conductores**

Transportan la energía eléctrica de un punto a otro y son parte esencial del sistema eléctrico, se encuentran en los sistemas de transmisión y distribución, los cuales conforman el Sistema de Interconexión Nacional (SIN), por ello, estos deben poseer altas cualidades de disponibilidad, confiabilidad y seguridad, para dar continuidad al servicio.





## ● Transformadores

Maquina eléctrica estática encargada de aumentar o disminuir el voltaje de un circuito eléctrico mediante la inducción electromagnética, sin afectar la frecuencia, [2], se clasifica de acuerdo a su aplicación en:

### ○ Transformadores de potencia

Son los transformadores que aumentan el voltaje para reducir la corriente, con el fin de evitar pérdidas en la transmisión, dado que en la generación de energía se produce a niveles de tensión relativamente bajos, esto debido al bajo costo para la producción, por lo que si se transmite directamente da como resultado corrientes altas en las líneas de transmisión, lo que a su vez aumenta las pérdidas debido al efecto Joule. Adicionalmente también hay transformadores de potencia reductores, con el fin de ajustar los niveles de transmisión a valores prácticos para la distribución, los cuales se encuentran generalmente en las subestaciones. Los transformadores de potencia trabajan en conjunto con las líneas de transmisión y operan con voltajes de 400 kV, 200 kV, 110 kV, 66 kV y 33kV, cuentan con potencias mayores o iguales a 200 MVA. [3]



Ilustración 2: Transformador de potencia [4]

### ○ Transformadores de distribución

Estos transformadores recuden los niveles de distribución a valores óptimos para el consumidor final, siendo 220V para uso residencial, se encuentran comúnmente en los postes, y sus características pueden variar de acuerdo a la



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

zona de operación. A diferencia de los transformadores de potencia, estos no están diseñados para trabajar a plena carga, sino alrededor de un 60 o 70%. [5] [6]



*Ilustración 3: Transformador de distribución instalado en poste. [5]*

- **Transformadores de medida o de instrumentación**  
Son los transformadores encargados de realizar la reducción necesaria para que puedan operar los equipos de medida, a su vez que brindan aislamiento. [7]
  - **Transformadores de corriente (CT'S)**  
Permiten disminuir la corriente a valores estables para conectar un amperímetro, por lo general 5A o menos debido a su conexión en serie con la red, se les conoce como transformador de serie.
  - **Transformadores de potencial (PT'S)**  
Su funcionamiento es reducir los niveles de voltaje al orden de 110V a 120V, con el fin de agregar un voltímetro pequeño que realice la medición debido a su conexión con la red, se le conoce como transformador paralelo.[8]
- **Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS's)**  
Dispositivo de protección encargado de proteger los demás componentes y/o maquinas del sistema eléctrico contra las sobretensiones producidas con las



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

descargas atmosféricas. Cuando un rayo impacta la estructura, este actúa, conduciendo la gran cantidad de energía hacia la puesta tierra.



Ilustración 4: DPS [9]

### ● Seccionadores

Componente de interrupción que permite controlar el paso del fluido a los sectores aguas abajo, e de carácter monofásico, por lo que es necesario uno por cada conductor. Se les puede clasificar en base a su activación:

#### ○ Fusible de expulsión

Estos tipos de seccionadores son de protección contra sobrecorrientes, y operan automáticamente cuando las detectan, esto se logra por el material con el cual están fabricados, que al pasar un umbral, se inicia la apertura, a mayor corriente, menor tiempo de despeje, una vez que opera en seccionador, requiere de un operario con pértiga para el reemplazo del fusible. Se le llama seccionador con fusible de expulsión, porque una vez que opera, el portafusible (Parte con forma cilíndrica que protege al fusible de las condiciones ambientales) se suelta de su extremo superior.

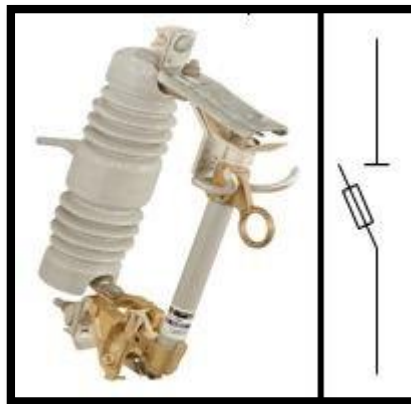


Ilustración 5: A la izquierda, cortacircuito para desarrollar seccionador por fusible de expulsión [10], a la derecha, su símbolo representativo.

Al ser un tipo de fusible, está cobijado por las mismas leyes, como percibir las condiciones de sobrecorriente, interrumpirla y extinguir de manera controlada el arco. Estos poseen un tiempo de repuesta de acuerdo a la cantidad de



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

corriente que circula, mostrando una curvatura en un plano logarítmico, a esto se le conoce como la curva tiempo-corriente (TCC).

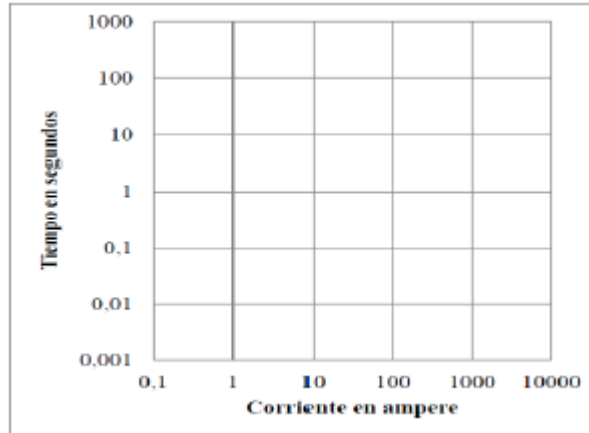


Ilustración 6: Perfil de una curva tiempo-corriente (TCC) [11]

### ○ Cuchillas

Estas son un tipo de interruptor manual que requiere de un operador con pértiga para cambiar el estado y/o posición, al momento de realizar el cambio de estado, se requiere desenergizar todo el alimentador. [12]



Ilustración 7: Símbolo representativo de seccionador basado en cuchilla.

### ● Reconectores

Componentes o equipo que realiza medición y protección, el cual se encuentra instalado en postes, que permiten realizar reconexión, despejando fallas Autoextinguibles y/o transitorias. Cuenta con un controlador, un sistema de comunicación, fuente de energía auxiliar, HMI e interruptor de potencia accionado electrónicamente. Está diseñado para operar en la intemperie, dado que posee un gabinete con características de grado marino. [13]

Este sistema puede operar de manera local o remotamente mediante un sistema SCADA, desde el cual, se le envía la señal para realizar una maniobra, en caso de esta última, requiere de un sistema de comunicación, el cual es internet satelital, debido



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

a las condiciones donde opera; sin embargo, ante una falla, este puede realizar las aperturas y recierres requeridos, con el fin de despejarla y normalizar el servicio. [14]



ADVC2- COMPACT



U Series

Ilustración 8: Reconectador, en la parte superior, dispositivo controlador, abajo, interruptor de potencia. [15]

### ● Relés de protección

Son relés programables que permiten realizar medición y protección al igual que los reconectores; pero a diferencia de estos, requiere de una celda para su instalación y no están diseñados para estar expuestos a las condiciones climáticas, son más sensibles, por lo que las mediciones que se realizan son más precisas, además pueden conectarse al interruptor que se requiera en la aplicación, tiene compatibilidad con el sistema SCADA, para realizar maniobras; pero ante una eventualidad opera de manera autónoma desenergizando los componentes aguas abajo.

#### ○ Sepam serie 20

- Pantalla en LCD, con iluminación de respaldo.
- 16 curvas características de sobrecorriente de tiempo inverso.
- Fácil configuración del software.
- Dos registros de falla de 86 ciclos, últimos valores de disparo y últimas 64 alarmas con estampa de tiempo.
- Diagnóstico de auto-examen.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

- Amplio rango de entradas de potencia de control (AC/DC).
  - Función de falla de interruptor, incluida en los relés S23 y T23.
- **Sepam serie 40**
    - Caja compacta provee dimensiones estandarizadas (<100 mm de profundidad).
    - Protección direccional de sobrecorriente para la doble entrada, acoplamiento y alimentadores de ciclo cerrado.
    - Entrada de corriente y voltaje.
    - Software de asistencia de ecuación lógica booleana.
    - Supervisión de cableado de TC/TV y circuito disparo.
    - Dieciséis segundos de grabación de falla configurable para múltiples capturas, histórico detallada de los últimos 5 informes de disparo y retención de las últimas 200 alarmas con estampa de tiempo.
    - 16 entradas tipo RTD.
  - **Sepam serie 80**
    - Dimensiones estandarizadas para una protección mejorada, para aplicaciones de alimentadores, transformadores, motor, generador, banco de capacitores.
    - Protección para entradas, acoplamiento y alimentadores.
    - Capacidades de ecuación lógica expandidas.
    - Batería de respaldo para retención de información de alarmas y forma de onda histórica.
    - Unidades opcionales de visualización basadas en mímicos, están disponibles para ver una porción de los diagramas unifilares y diagrama fasoriales.



Ilustración 9: Familia de los relés SEPAM de Schneider Electric. [16]



## 2.3. Estudio de la interrupción del fluido eléctrico.

- **Conceptos básicos**

El sistema eléctrico está expuesto a condiciones internas o externas que pueden ocasionar la no continuidad del servicio, es por ello que se hace necesario un estudio de estas dos partes:

- **Condiciones internas**

Corresponde a los eventos ocurridos debido a falta y/o inadecuado mantenimiento, para garantizar el fluido eléctrico, ya sea de máquinas, estructural o de componentes, estos por ser responsabilidad de la empresa, pertenecen a eventos no excluibles de penalización por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

- **Condiciones Externas**

Corresponden a los eventos ocurridos debido a agentes externos que ocasionan las interrupciones del servicio, como pueden ser condiciones ambientales y/o climáticas extremas, condiciones de inseguridad, etc., las cuales pueden ser excluidas de penalización por parte del ente regulador.

Debido a lo anteriormente mencionado, se hace necesario estudiar las características de la ausencia de fluido eléctrico, con el fin de enfocar las protecciones en las mismas.

- **Fallas**

Las fallas son averías o mal funcionamiento de un sistema, [17] , y se clasifican de acuerdo a su naturaleza, las cuales pueden ser:

- **Autoextinguibles**

Son aquellas, donde el objeto que la provoca se separa de la red eléctrica, por ejemplo, una rama que por efecto del viento, toca los conductores y vuelve a su posición original.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO



Ilustración 10: Rama próxima a la red de baja tensión, ante la presencia de aire, realiza contacto. [18]

- **Transitorias**  
Estas pueden ser liberadas antes de que ocurra un daño grave en cualquier componente del sistema eléctrico, esto se debe a que opera un componente de protección y el sistema se puede reestablecer después de un corto periodo de tiempo. [19]
- **Permanentes**  
Son las fallas que persisten a pesar de la rapidez con la que el circuito se desenergiza, esto puede ocurrir debido a una inadecuada selección de componentes de protecciones o a la ausencia de la misma y requiere de una reparación antes de energizar el circuito.

Una falla transitoria puede convertirse en una falla permanente, si esta no es despejada rápidamente. Las fallas más recurrentes son ocasionadas por un cortocircuito en la red eléctrica, pudiendo clasificarse en los grupos mencionados anteriormente.

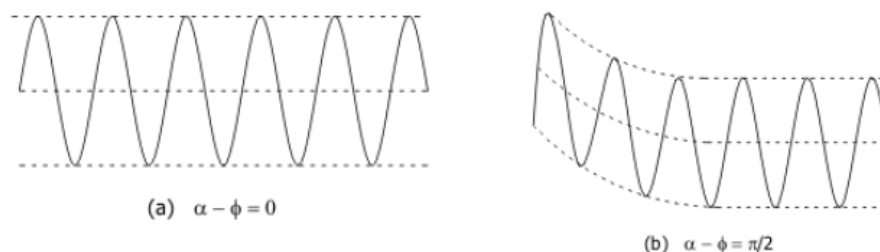


Ilustración 11: Variación de la corriente de falla con el tiempo. [20]

### ○ Cortocircuitos





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

Fenómeno que ocurre cuando se unen dos puntos de manera accidental o intencional con diferencia de potencial y baja impedancia, ocasionando una intensidad de corriente elevada, [21] . Dado que puede tener varias configuraciones, se han clasificado en cuatro tipos, teniendo como referencia las conexiones en la red eléctrica de distribución, que se muestran a continuación:

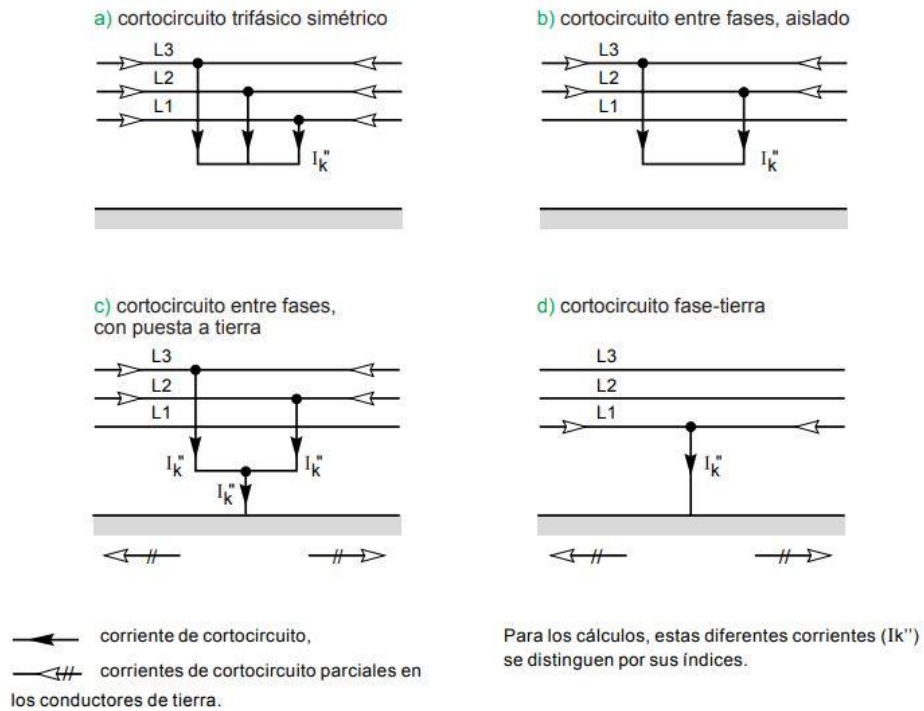


Ilustración 12: Conexiones físicas posibles en la red de distribución y transmisión. [19]

El sistema eléctrico se puede reducir a una fuente de voltaje alterna, una impedancia  $Z_{cc}$ , que representa todos los componentes aguas arriba que agregan resistencia (R) y reactancia (X), la cual es la única que limita la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) y por ultimo una impedancia de carga  $Z_s$ .

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

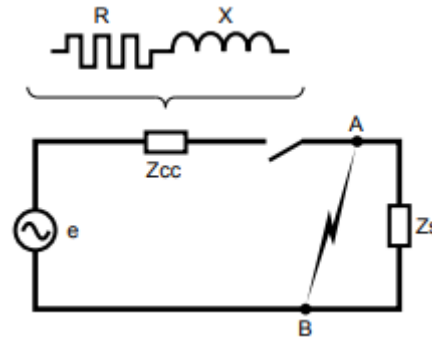


Ilustración 13: Circuito de presentación básico de un cortocircuito. [19]

Debido a que la impedancia depende de las partes mencionadas anteriormente, durante un cortocircuito, este se constituye de componente alterna y componente continua, como se aprecia en la siguiente formula:

$$i = i_a + i_c$$

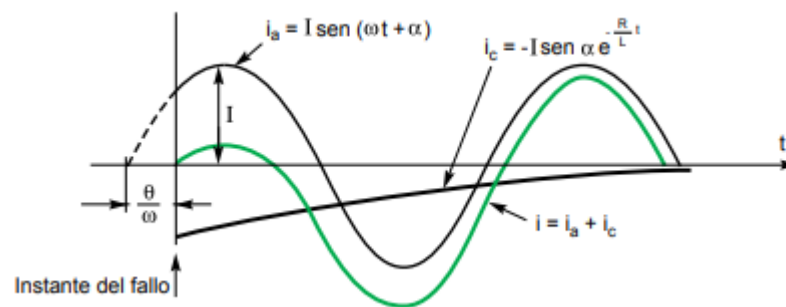


Ilustración 14: Componente AC y DC de una corriente de un cortocircuito. [19]

A continuación se muestra otra clasificación, esta se basa en la simetría de la onda

- **Corriente de cortocircuito simétrico**  
Se da cuando se produce un cortocircuito y la fuerza electromotriz (f.e.m) de la fuente de alimentación está en su valor máximo. [22]
- **Corriente de cortocircuito asimétrico**  
Esta se da cuando se produce un cortocircuito y la f.e.m de la fuente tiene un valor distinto al máximo, por lo que genera una amplitud mayor, debido a que la componente alterna se le superpone una componente unidireccional.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

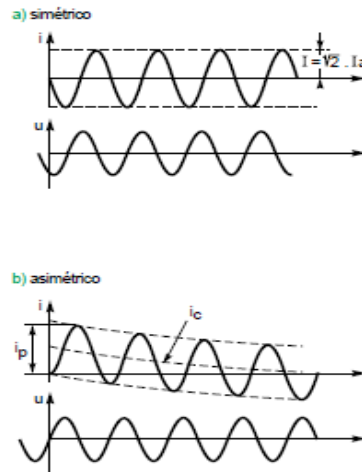


Ilustración 15: Diferencia entre una corriente de falla simétrica y asimétrica [19]

Adicionalmente existe una relación entre la clasificación entre clasificación basada en la simetría de la onda y la clasificación de conexión a la red de distribución, tal como lo describe la siguiente figura.

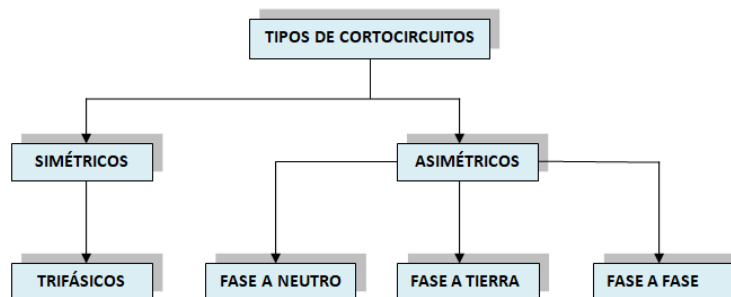


Ilustración 16: Tipos de cortocircuito de conexión física clasificados en base a la simetría. [23]

Otro punto importante es que la magnitud del cortocircuito depende de la configuración de la conexión a la red, dando como resultado que la corriente de cortocircuito trifásico es el peor de los casos, tal como se demuestra a continuación.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

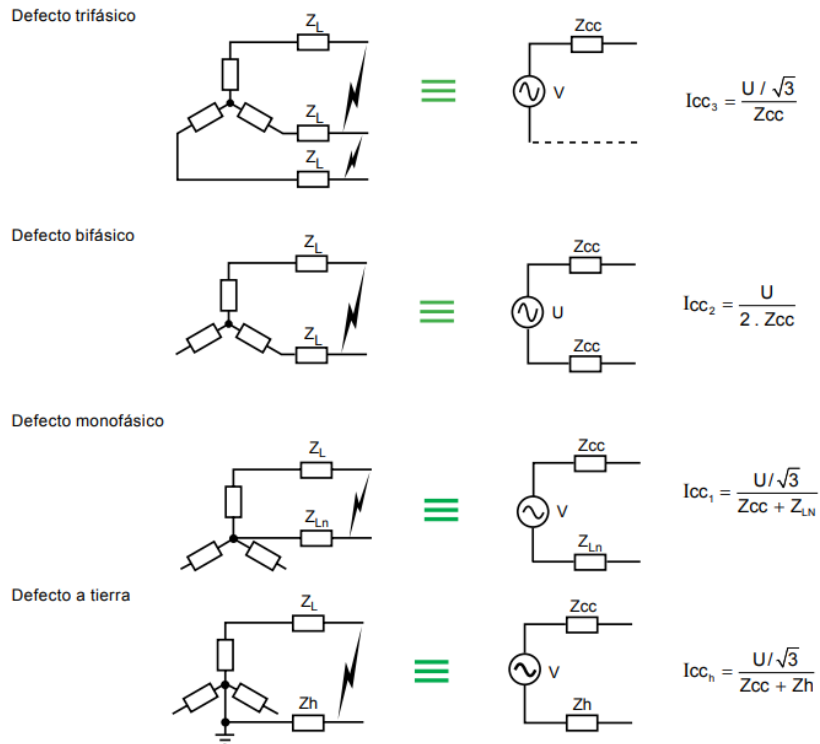


Ilustración 17: Corriente de cortocircuito, de acuerdo a su análisis. [19]

La relación entre la distancia y la magnitud del cortocircuito es inversamente proporcional, esto quiere decir que a medida que la falla se aleja de la fuente, el valor de la corriente se va haciendo más pequeño, debido a la resistencia de los conductores, adicionalmente se da un caso muy peculiar, si la falla de fase a tierra es muy cerca a la fuente (menos de 1 km), la corriente del cortocircuito es mayor a la trifásica, tal como se puede apreciar a continuación:



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

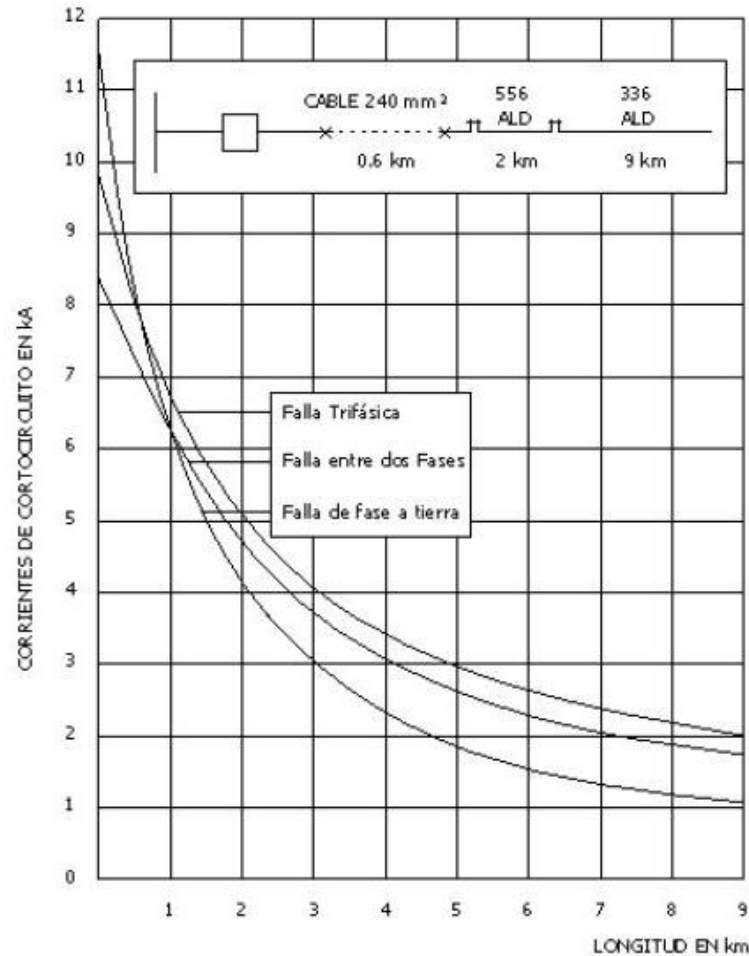


Ilustración 18: Relación entre la distancia, la magnitud y el tipo de falla. [20]

## 2.4. Protecciones

Son los elementos encargados de actuar ante los fallos para evitar daños en los equipos, que podrían ocasionar una falla permanente además de elevados costos de mantenimiento correctivo. Estas pueden actuar ante diversas circunstancias como son:

- Cortocircuito.
- Sobrecarga.
- Frecuencia anormal.
- Voltaje anormal
- Etc.

Las protecciones están basadas en la confiabilidad



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

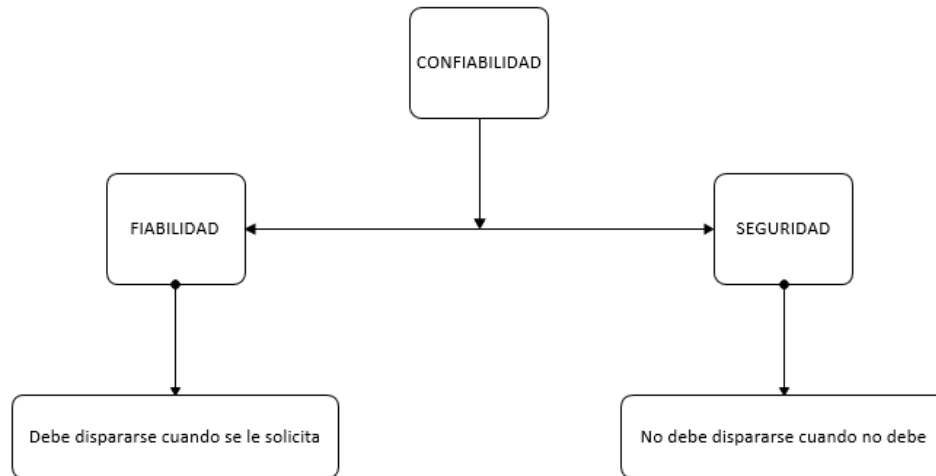


Ilustración 19: Mapa conceptual sobre confiabilidad. [24]

### ● Características de los sistemas de protección

- **Velocidad**  
Ante una falla, la protección debe responder en el menor tiempo posible.
- **Selectividad**  
Las protecciones están asociadas para trabajar ante un tipo de falla específica y responder por una zona, por ejemplo, ante un cortocircuito, la protección más cercana aguas arriba debe operar, con el fin de evitar de aislar la falla y evitar perturbaciones en el resto del circuito. [24]

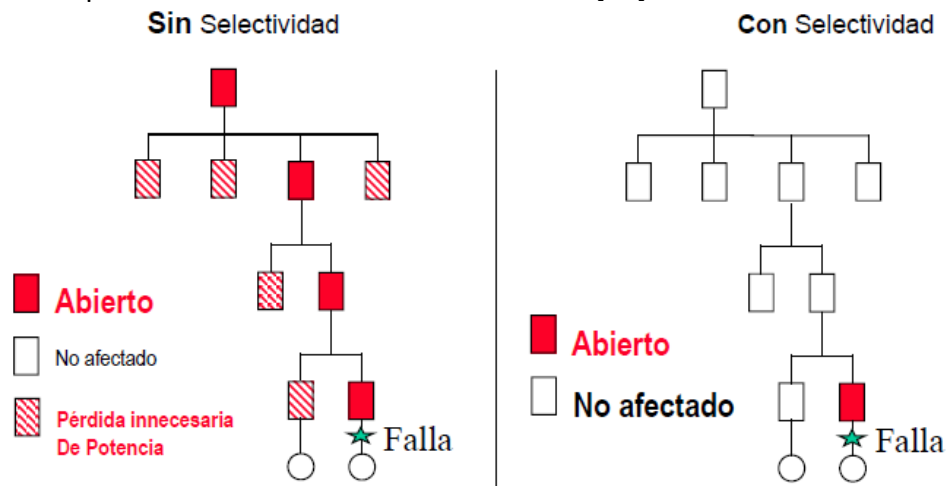


Ilustración 20: A la izquierda una red con protecciones sin selectividad, en la derecha, red con selectividad. [25]

- **Sensibilidad**



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

Se refiere a la detección de la menor anomalía, para que la protección opere correctamente.

- **Automaticidad**

Para mejorar el tiempo de respuesta, ante una falla, las protecciones deben operar sin la intervención de un operario.

- **Costo**

Principalmente es el mayor limitador en el tema de implementación, por consiguiente se busca tener la máxima protección al menor costo. [24]

- **Tipos de coordinación**

Basados en el criterio de selectividad, las protecciones pueden ser clasificadas de acuerdo al orden de operación.

- **Protección principal**

Protección que opera en zona asociada, garantizando el despeje total de la falla en el menor tiempo posible y la máxima continuidad del servicio.

- **Protección de respaldo**

Denominada también como protección de acompañamiento (Back-up), es la encargada de operar, en caso tal que la principal no opere por alguna razón, con el fin de despejar completamente la falla, garantizando la máxima continuidad del servicio. [26]

- **Tipos de Selectividad**

La selectividad se clasifica de acuerdo al criterio en el que se basa, los cuales son:

- **Selectividad amperimétrica**

Se basa en los siguientes puntos:

- Cuanto más cerca de la alimentación se produce el fallo, mayor es la intensidad de cortocircuito.
- Se utiliza con valores bajos de intensidad, adicionalmente se requiere de intensidad de cortocircuito y alta impedancia de los conductores de conexión.
- Para su implementación se utiliza las curvas de tiempo-intensidad (TCC) de actuación de los dispositivos.
- Entre sus ventajas es su rapidez, facilidad de desarrollo y que **económicamente viable**.
- Entre sus defectos están la baja selectividad, para aumentarlos se requiere un aumento rápido de los calibres de los dispositivos.

- **Selectividad cronométrica**



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

- Permite realizar un estudio de una manera sencilla, aunque es un poco más costoso que el criterio anterior, es relativamente económico en comparación con otros.
  - Permite tener una alta selectividad en función de la intensidad de corta duración soportada el dispositivo, además de admitir redundancia y suministrar información de alta relevancia para el centro de control.
  - Los tiempos de operación permiten que pasen altos niveles de energía, y al estar la falla más cerca a la fuente, mayor será este nivel, lo que implica niveles de seguridad bajos o altos niveles de riesgo que afectan a los demás componentes e incluso afectar a zonas que no debería.
  - Solo autoriza interruptores automáticos limitadores en el nivel jerárquico más bajo de la cadena, o lo que es lo mismo, en el último componente aguas abajo, por lo que los interruptores de niveles superiores deben soportar los efectos térmicos y electrodinámicos causados por el defecto durante el tiempo de retardo.
  - El número de selectividad está limitado exclusivamente por el tiempo máximo que soporta el sistema eléctrico sin perder estabilidad.
- **Selectividad de zona**
    - Implementa relés de protección, con lo cual ante una falla, se identifica la zona afectada, y opera el relé que tiene asignada esa área de trabajo.
    - Los tiempos de actuación son una de sus principales ventajas, ya que permite operar en el orden de los 100 milisegundos, lo cual reduce las consecuencias negativas (daños en los equipos, efectos térmicos o electrodinámicos y perturbaciones) en la red de alimentación.
    - Alto nivel de selectividad, lo que permite reducir el área de influencia a analizar, con el fin de reducir y/o eliminar las causas.
    - Otra característica, es la redundancia en las protecciones, lo que se garantiza el despeje de la falla, para ello, los interruptores automáticos que están más cerca de la fuente poseen tiempo mayores.
    - Su principal desventaja es el tema económico, ya que requiere de componentes especiales, cableado adicional, fuentes de alimentación auxiliar e instalaciones más complejas. Por ende se implementa en zonas de alta demanda, la cual requiera de gran calidad del servicio (Seguridad y continuidad del servicio).
  - **Selectividad energética**





## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

- Esta se basa en la limitación generada por los interruptores automáticos, los cuales al tener un tiempo de respuesta mínimo, evita que el valor de cortocircuito llegue a su punto máximo.
- Si estos interruptores se configuran en el orden de los milisegundos, impide la utilización de las TCC para el estudio de la coordinación de protecciones.
- El corte es rápido con tiempos de actuación que disminuyen al aumentar la intensidad del cortocircuito, que a su vez disminuye los efectos térmicos, dinámicos, perturbaciones o costos asociados al dimensionamiento.
- El nivel de selectividad no está limitado por la intensidad de cortocircuito que pueden soportar los demás componentes.
- Permite coordinar diferentes dispositivos limitadores (fusibles e interruptores automáticos) independientemente de la posición.
- Dificultad para coordinar interruptores automáticos de calibres similares, además de su elevado coste. [27]

### • Criterios de selección del fusible

Los fusibles están diseñados para operar en un margen de corriente a un nivel de tensión específica, por ello, hay una clasificación de fusibles para media tensión los cuales se implementan en la distribución, estos dependen del material sobre el cual están hechos y de las dimensiones.

#### ○ Tipo H

Son fusibles con la velocidad más alta, están definidos como extra rápidos y poseen una relación de velocidad de 4 o 5, por lo que permiten aislar la falla del sistema en un lapso de tiempo mínimo, pero son susceptibles a corrientes anormales.[28]

#### ○ Tipo K

Fusibles categorizados como rápidos, esto quiere decir que poseen una velocidad menor a los tipo H, su relación de velocidad está comprendida entre 6 y 8, por lo que permiten aislar la falla rápidamente; pero son más tolerantes, ya que soportan hasta 1.5 veces su corriente nominal, coordinando de una manera más adecuada con relevadores o reconectores.

#### ○ Tipo Std

Fusibles con velocidad menor a los anteriores, con relación entre 7 y 11, por lo que son permisivos a corrientes de cortocircuito transitorias. [29]

#### ○ Tipo T



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

Denominados lentos o retardados, los cuales poseen una relación de velocidad de entre 10 y 13, y soportan corrientes transitorias mayores. [30]

- Criterios de coordinación entre los componentes
  - Fusible – fusible – Criterio del 75%

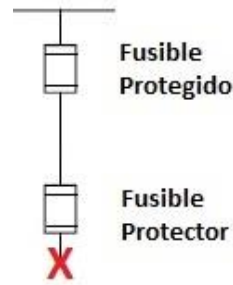


Ilustración 21: Posición del fusible protector y protegido. [28]

Estos componentes se coordinan basados en las TCC, la cual contiene información del tiempo máximo de despeje ( $t_1$ ) y el tiempo mínimo de fundición ( $t_2$ ), la primera, indica cuanto tiempo le toma al fusible en abrirse completamente, de tal forma que no permita el flujo de energía, y la segunda muestra cuanto tiempo le toma al elemento a determinada corriente empezar a fundirse.

Para coordinar 2 fusibles se requiere que el  $t_1$  del fusible más cercano aguas arriba (Fusible protector) a la falla no debe exceder el  $t_2$  del segundo fusible aguas arriba de la falla (Fusible protegido).

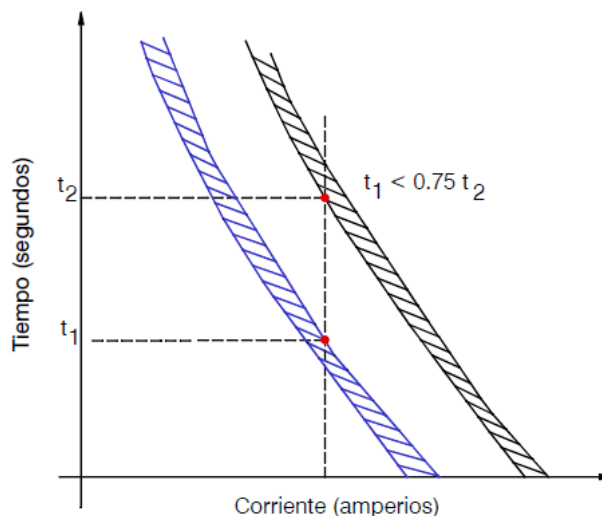


Ilustración 22: Obtener parámetros, para establecer el criterio de coordinación fusible-fusible



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

### ○ Reconectador – fusible

Fusible en el lado de la carga

- El 75% del tiempo mínimo de fundición del fusible deberá ser mayor que la curva rápida del reconectador, multiplicada por el factor multiplicador.
- El tiempo máximo de despeje del fusible deberá ser menor que la curva temporizada del reconectador sin ningún factor multiplicador.
- El reconectador deberá tener al menos 2 o más operaciones temporizadas para prevenir pérdidas del servicio en caso que el reconectador dispare, cuando el fusible opere, pues el fin último es que el reconectador realice todos los intentos antes de que opere el fusible; pero sin llegar al bloqueo. [31], [32]

<b>Factor K para el fusible en el lado de la carga</b>		
Tiempo de recierre en ciclos	Una operación rápida	Dos operaciones rápidas
25 - 30	1.25	1.80
60	1.25	1.35
90	1.25	1.35
120	1.25	1.35

Tabla 1: Factor K para coordinación reconectador - fusible, del lado de la carga. [27]

## 2.5. Software

### ● SPARD

#### ○ SPARD Distribution

Sistema de Información Geográfica (SIG) especializado para redes eléctricas. Permite crear elementos de la red geográficamente, editar y consultar la Base de Datos de Distribución (BDD), adicionalmente, incluye aplicaciones de análisis y optimización de redes en el mismo GUI, tales como Lecturas en Subestaciones, Asignación de Cargas, Flujo de Carga Balanceado y Desbalanceado, Corto Circuito, Reconfiguración Óptima, Conductor Económico, Cálculo y Balance de Pérdidas Técnicas y No Técnicas y otros.

#### ○ SPARD OMS

Aplicación para la Operación de la red y la Calidad de Servicio. Permite la operación simulada o en tiempo real, cuando existe un enlace al SCADA de la red eléctrica. Posee una plataforma geográfica visual para realizar u observar



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

maniobras y sus efectos sobre la red (des-energizaciones). Adicionalmente registra las interrupciones y calcula los indicadores nacionales e internacionales de Calidad de Servicio, lo cual permite ver la eficiencia de las cuadrillas en terreno, también cuenta con la capacidad de la gestión de eventos en forma predictiva, confirmada y programada, gestión de cuadrillas, localización automática de vehículos y la gestión de órdenes de trabajo. [33]

- **SPARD Power**

Permite simular sistemas de potencia avanzados, realizar flujos de potencia, análisis de corto circuito, coordinación de protecciones visual y automática. También posee herramientas que permiten disminuir irregularidades propias de la red, por lo que contiene un analizador de armónicos, estabilidad transitoria, análisis de contabilidad y estudio de arco eléctrico. Trabaja en línea con el sistema SCADA en modo de operación o como herramienta de análisis y planificación.

- **SPARD TCS**

Gestión de llamadas sobre problemas y centro de contacto, el cual recibe el reporte por parte del usuario, el cual incluye código, dirección y descripción. Enlaza información del OMS, GIS, SCADA, y del Sistema Comercial. [34]

En la atención de un evento cualquiera siempre intervienen el SPARD TCS y el SPARD OMS, ya que son los programas encargados en las etapas de atención al usuario y gestión de las cuadrillas de mantenimiento, adicionalmente el SPARD Power se implementa cuando se requiere calcular la distancia de falla, con el fin de reducir el área de búsqueda.

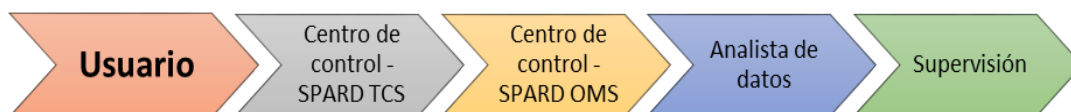


Ilustración 23: Flujo de la información de los eventos. [18]

- **ETAP**

Programa para el análisis, simulación, seguimiento, control, optimización y automatización de los sistemas de energía eléctrica. En el cual se puede realizar las conexiones correspondientes a un circuito a nivel de media tensión, con el fin de comprobar si la carga está balanceada, estudio de cortocircuito, coordinación de protecciones, entre otros, es un programa muy similar al SPARD Power.

## Capítulo 3

### 3. Descripción del proyecto

#### 3.1. Ubicación

Es desarrollado en el municipio de Arauca, capital del departamento de Arauca, limita con Venezuela al norte, posee una población alrededor de los 100.000 habitantes y una superficie de 5841 km<sup>2</sup> y un clima con altas temperaturas en verano y altas tormentas en invierno. En temporada invernal, en la zona rural se hace inaccesible en ciertos puntos, debido principalmente a inundaciones o mal estado de las vías.



Ilustración 24: Ubicación del municipio de Arauca.

#### 3.2. Enelar ESP

Empresa de energía eléctrica de Arauca, encargada de la distribución y comercialización de la misma en todo el departamento, fue creada en 1985 para garantizar el suministro de energía al complejo petrolífero de Caño Limón. Actualmente cuenta con certificación Icontec en los procesos de Operación y mantenimiento. Este último es el encargado de atender las situaciones que generan no continuidad del servicio y por ende afecta la calidad del servicio. [35]



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

La empresa Enelar tiene dividido el departamento en 3 zonas, las cuales son:

- Zona Norte
- Zona Sur
- Zona Centro

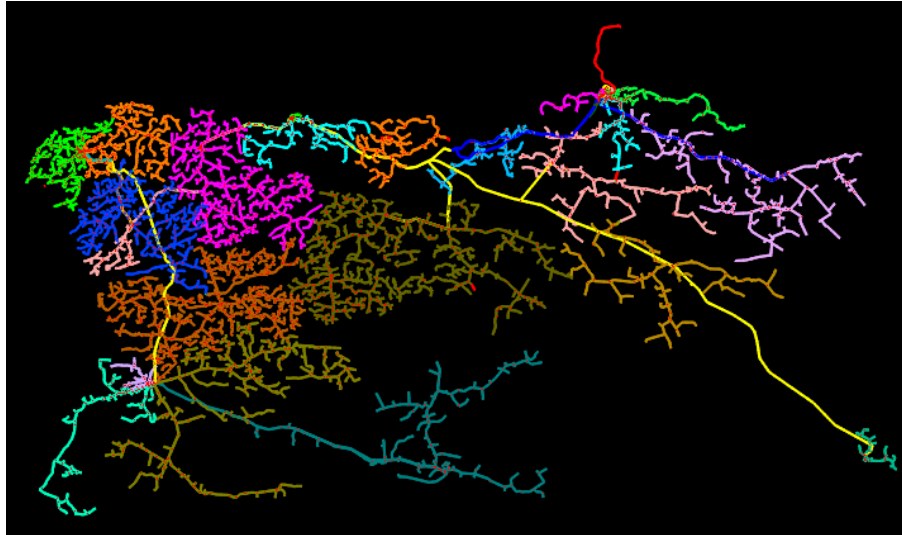


Ilustración 25: Circuitos de la empresa de energía Enelar en el departamento de Arauca. [18]

Esta última, responsable del municipio de Arauca (AR) y Cravo Norte (CN) con circuitos de carácter completamente rurales o tipo 2 y otros con mayoría urbano o tipo 1:

- Tipo 1
  - AR0101
  - AR0102
  - AR0103
  - AR0104
  - AR0105



Ilustración 26: Alimentadores de la subestación Arauca. [18]



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

- Tipo 2
  - AR0201
  - AR0301
  - AR0401
  - AR0501
  - AR0601
  - CN0101

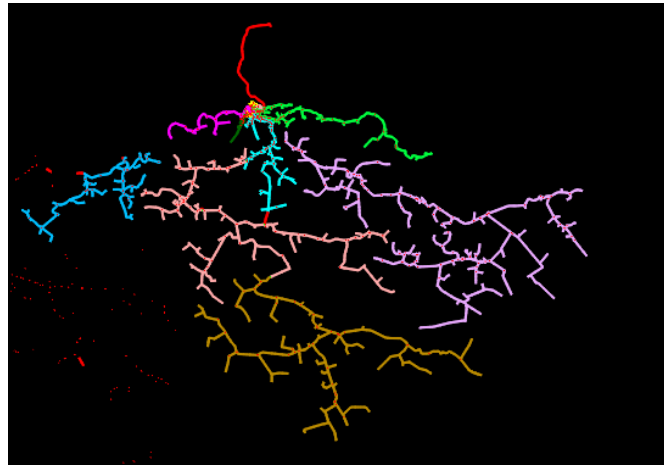


Ilustración 27: Alimentadores asociados a Zona Centro. [18]

### 3.3. Alcance de la coordinación

Esta se efectuara en el alimentador 4 conocido como AR0104 que cuenta con usuarios del tipo residencial, industrial y rural, por lo tanto para realizar una prueba piloto, se escogió el ramal que conduce a las veredas, donde se evidencia la descoordinación de protecciones, iniciando en el reconectador San Carlos hasta el último seccionador aguas abajo.

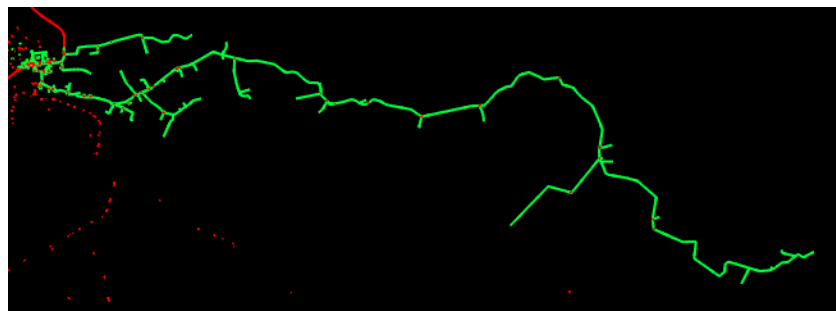


Ilustración 28: Alimentador 4, en su ramal más largo, se va a realizar estudio de coordinación de protecciones. [18]



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

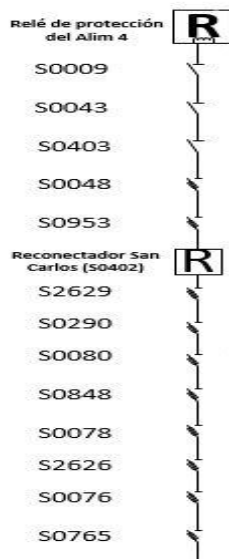


Ilustración 29: Circuito desde el Alimentador 4 hasta la vereda el Vapor. [18]

### 3.4. Identificación del sistema eléctrico

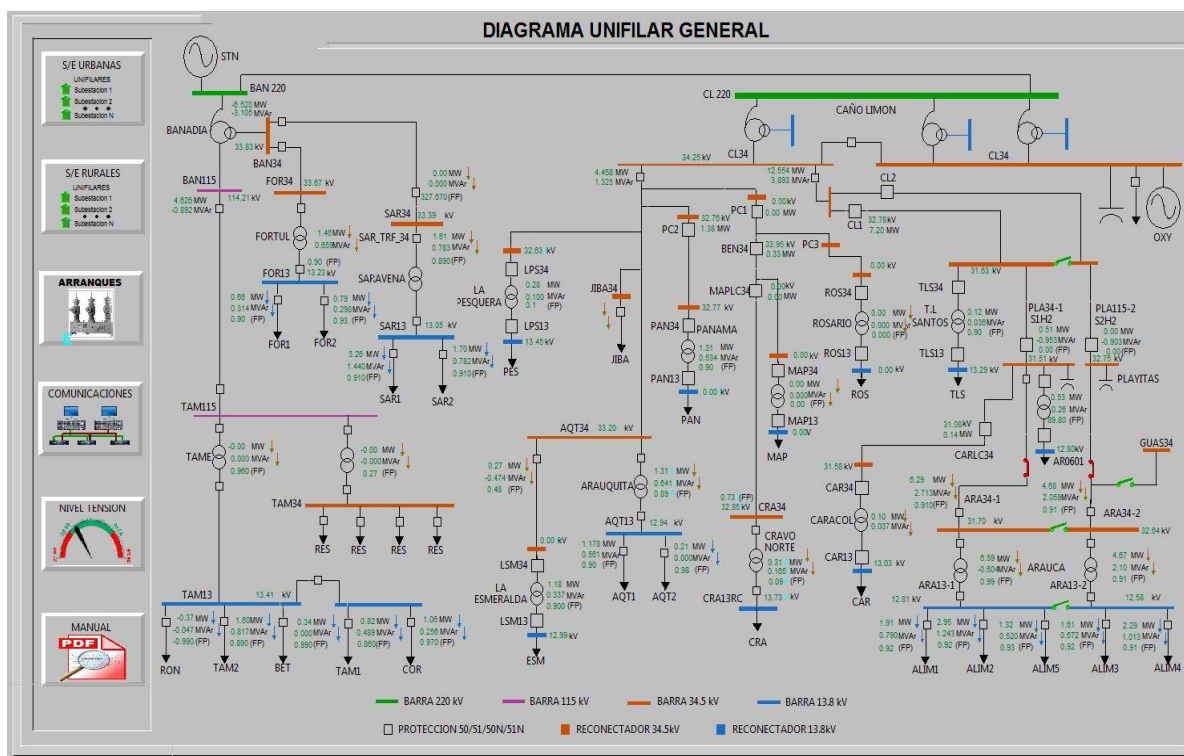


Ilustración 30: Diagrama unifilar del departamento de Arauca, desde el punto del STN hasta los alimentadores. [36]





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

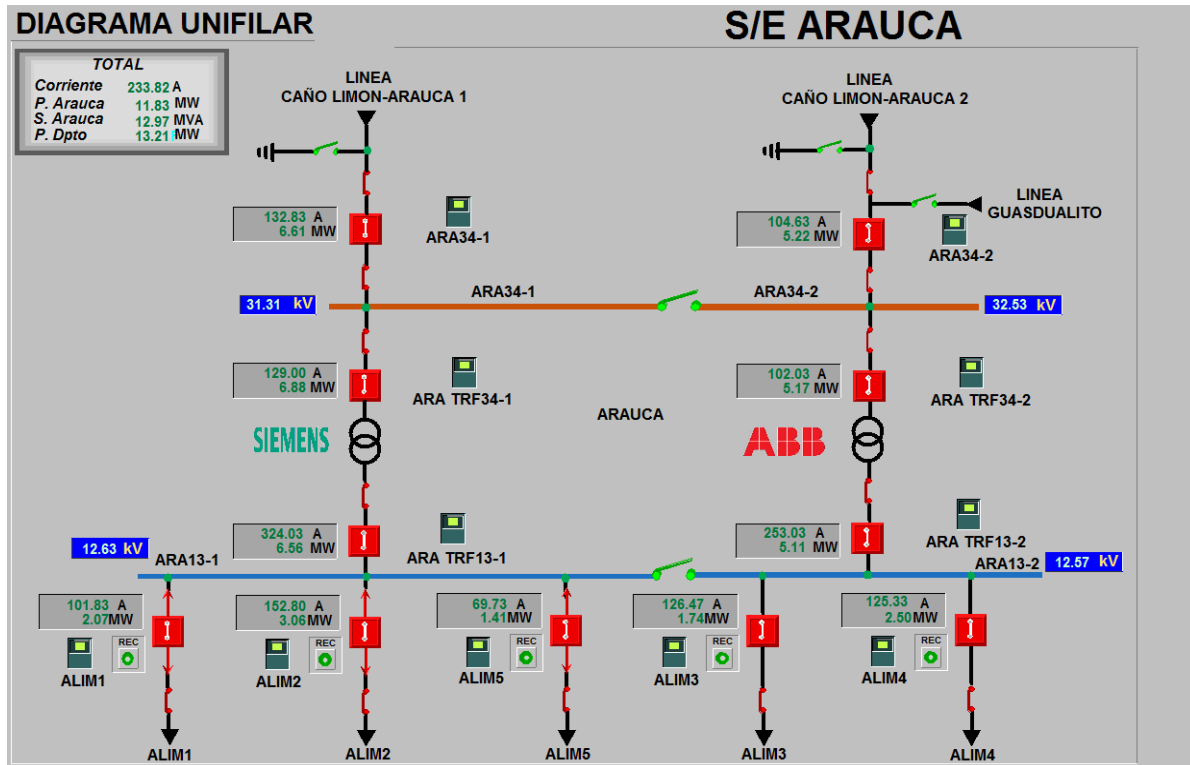


Ilustración 31: Diagrama unifilar de la subestación Arauca. [36]

Línea	Arauca 1	Arauca 2
Marca	Siemens	Siemens
Tensión Primaria	34,5 kV	34,5 kV
Tensión Secundaria	13,8 kV	13,8 kV
Conexión Primaria	Delta	Delta
Conexión Secundaria	Estrella	Estrella
Frecuencia	60 Hz	60 Hz

Tabla 2: Información de transformadores de potencia de la subestación Arauca.

- **Ramal principal veredas**

Este ramal está compuesto por 8 seccionadores, todos del tipo H, es decir extra rápidos, por lo que nos da in primer indicio de baja coordinación, adicionalmente de un reconector, el cual se configura mediante el programa WSOS, el cual le permite gestionar la cantidad de protecciones, su tipo de protección y configuración.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

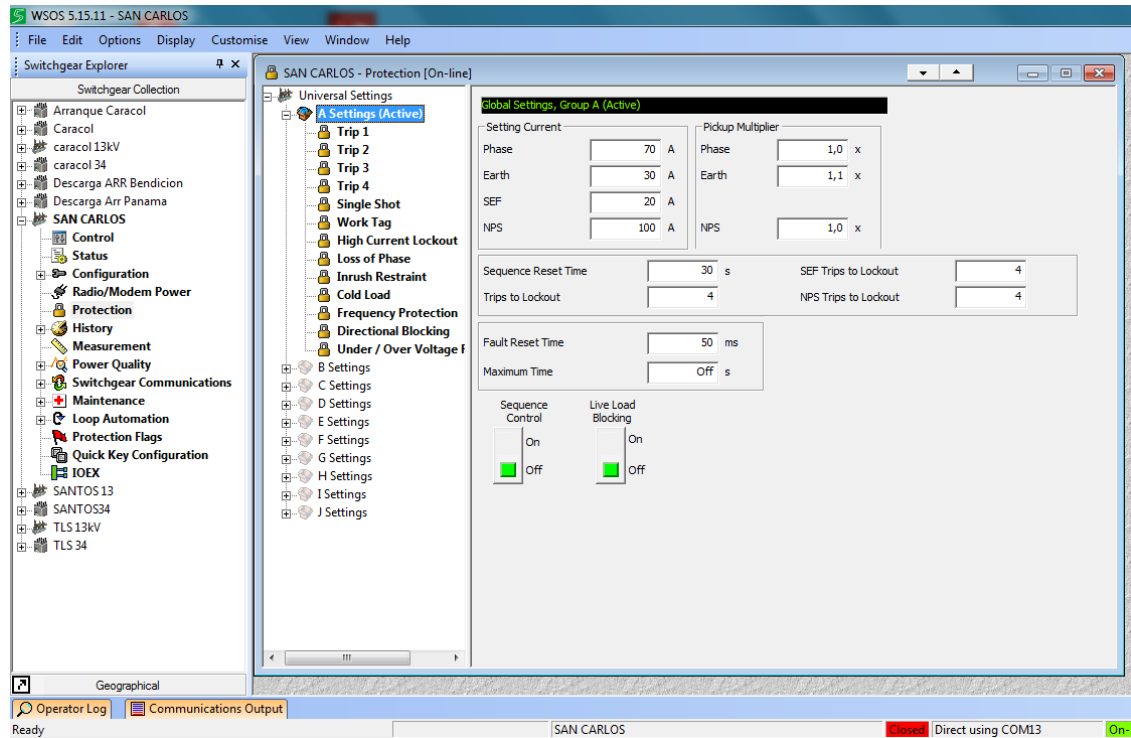


Ilustración 32: Programa WSOS, para gestionar configuraciones del reconectador San Carlos. [36]

Continuando con el análisis de los valores instalados en campo, se evidencia seccionadores contiguos con valor de fusibles idénticos, lo cual nos indica una necesidad más para realizar el estudio de protecciones

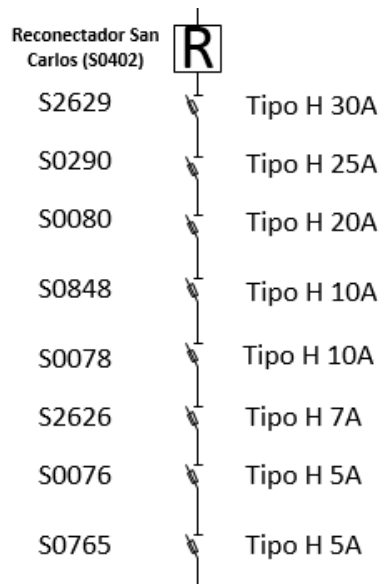


Ilustración 33: Configuración actual de los seccionadores del ramal principal a las veredas.



# Capítulo 4

## 4. Desarrollo

Para realizar el estudio de coordinación de protecciones de los componentes mencionados anteriormente, se requieren de cierta información, para lo cual nos apoyaremos en programas informáticos que asisten en múltiples tareas.

### 4.1. SPARD

En este programa está caracterizado todo el sistema de distribución de la empresa, es decir, la cantidad de alimentadores (distancia, referencia), transformadores (referencia, fases, potencia, clientes asociados, etc), seccionadores, subestaciones y reconectores. Este posee diferentes utilidades en la pestaña de aplicaciones

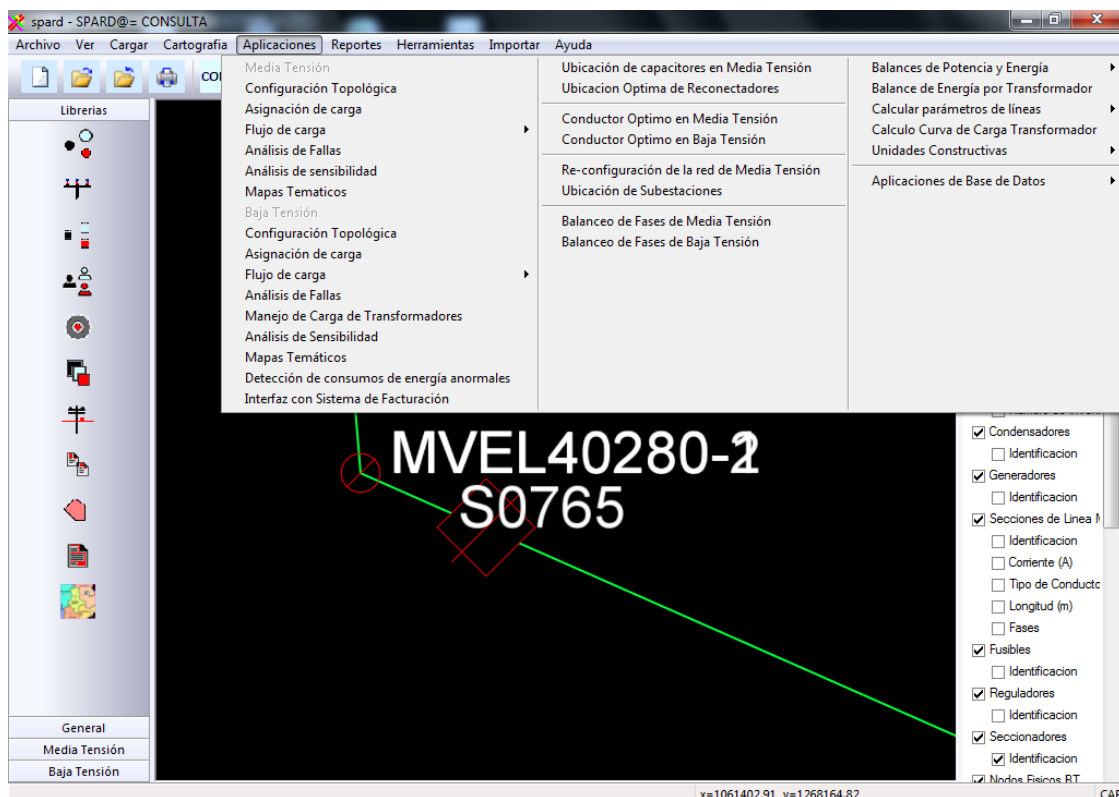


Ilustración 34: Aplicaciones disponibles en el SPARD. [18]

Para proceder con los estudios de flujo de carga y análisis de fallas, los cuales nos darán información de corriente nominal y corriente de cortocircuito, primero se debe realizar una



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

**configuración topológica**, la cual permite refrescar la información del alimentador a tratar, basándose en las conexiones existentes, estado de los seccionadores, carga instalada etc. Otra aplicación clave es la **asignación de carga**, la cual permite ingresar los datos de consumo, con el fin de realizar un **flujo de carga** más preciso; pero debido a que la zona a tratar en su mayoría es rural, es un factor clave, ya que la misma, presenta usuarios ilegales, fraudulentos o legalizados con tarifa fija.

### 4.2. Flujo de carga

Este proceso nos permite determinar la corriente nominal para cada seccionador, teniendo en cuenta la resistencia de los conductores que provoca pérdida de voltaje, puede elaborarse basado en:

- **Flujo de carga radial balanceado**

Este se basa en la información existente en el SPARD, y genera la información para los nodos eléctricos, de entre los cuales se encuentran los seccionadores, asimila el componente del conductor como uno solo, de tal manera que presenta información por tramos.

- **Flujo de carga por fase**

A diferencia del anterior tiene en cuenta cada una de las fases, lo que implica, como están conectados los transformadores al alimentador, por lo que se puede determinar de manera indirecta el desbalance de cargas presentes en el circuito.

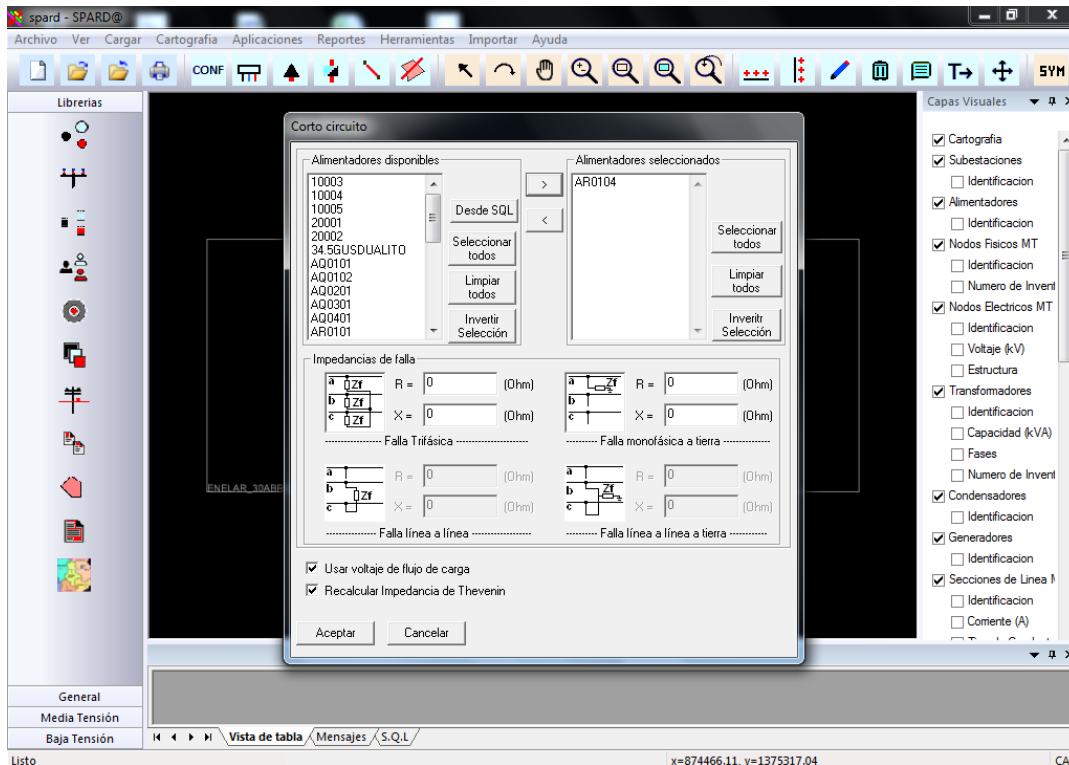
Para temas prácticos se trabajara con el flujo de carga radial balanceado, ya que permite realizar la coordinación basándose en datos por seccionador y no por fase de cada seccionador, puesto que este último implicaría que un mismo seccionador, puede tener fusibles de distintas características de acuerdo a su fase, y podría generar confusión o malestar con los operarios.



Ilustración 35: Panel para realizar flujo de carga radial balanceado.

### 4.3. Simulación de cortocircuito

Este permite desarrollar el análisis de cortocircuito, debido a que en la empresa no hay un historial de impedancias, este se desarrolla bajo la peor condición, la cual una resistencia y reactancia de cero, con el fin de obtener información parcial sobre las corrientes de cortocircuito



*Ilustración 36: Panel para la configuración del análisis de cortocircuito por alimentador.*

Acto seguido se realizó una proporción entre la máxima corriente de cortocircuito desarrollada por el SPARD y el máximo valor de falla en el histórico, para manejar datos más reales, con los cuales se creó una tabla, donde adicionalmente se encuentran valores de corriente nominal para cada seccionador, lo cual nos permite iniciar el siguiente punto.

### 4.4. Ajuste y simulación de fusibles

Para realizarlo, se basó en los criterios de coordinación mencionados anteriormente, conjuntamente con datos de distancia y carga instalada entre los seccionadores. El proceso se inició en el último seccionador, y se fue ascendiendo hasta llegar al reconector San Carlos.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

A continuación se muestra los detalles de los seccionadores aguas abajo del reconector San Carlos, sobre el cual se va a realizar la base del estudio, y determinará la viabilidad de los seccionadores mediante la aplicación de las curvas TCC.

Valor	Tipo	In (A)	Icc (A)
S0402	RECO	-	-
S2629	CC	21	155
S0290	CC	18	136
S0080	CC	12	115
S0848	CC	7	77
S0078	CC	4	49
S2626	CC	4	44
S0076	CC	3	29
S0765	CC	2	22

La corriente de cortocircuito se establece por el primer seccionador aguas arriba de la posición de la falla, en el cual sus fusibles se analizan como fusibles protectores y el seccionador siguiente, sus fusibles se analizan como fusibles protegidos, además que el valor de fusible debe ser superior al valor de la corriente nominal, para no producir fatiga y mal operación.

Se consideró temas de facilidad de adquisición, reducción de costos y viabilidad del seccionador, con el fin de disminuir el gasto en las actividades de mantenimiento, ya que éstas representan un pilar fundamental al momento de realizar el presupuesto, teniendo como única meta, garantizar la continuidad del servicio.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

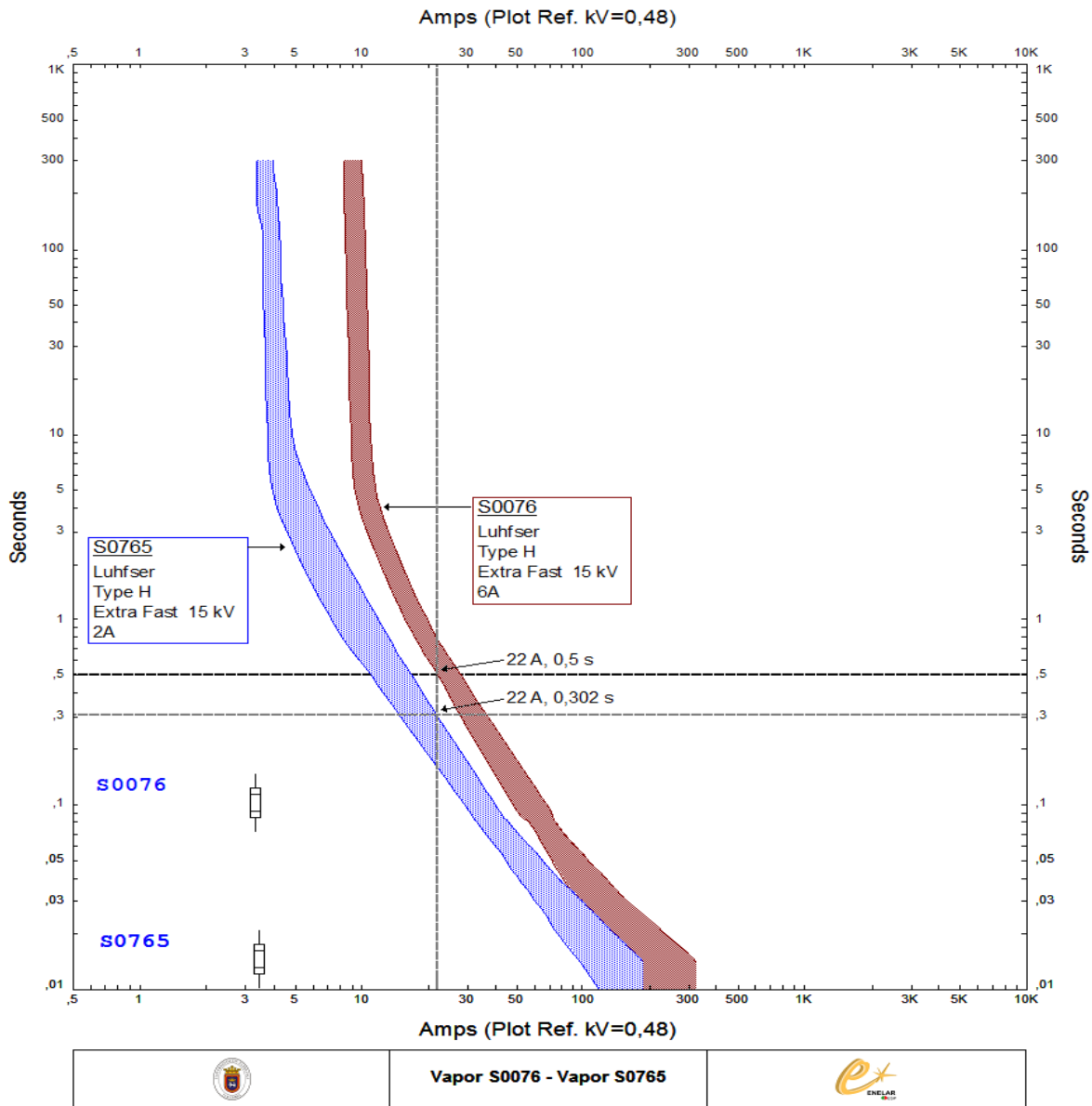


Ilustración 37: Análisis de coordinación de los seccionadores para la vereda el Vapor.

Aplicando el criterio de coordinación fusible-fusible se puede apreciar que si cumple el criterio y respeta los límites indicados en la tabla.

$$0,302 < 0,5 * 75\%$$

$$0,302 \text{ s} < 0,375 \text{ s}$$

De acuerdo a lo anterior, esos valores seleccionados cumplen el criterio, desarrollando una buena coordinación. Por lo que se procede a realizar el siguiente estudio, donde el fusible protegido, se vuelve el fusible protector.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

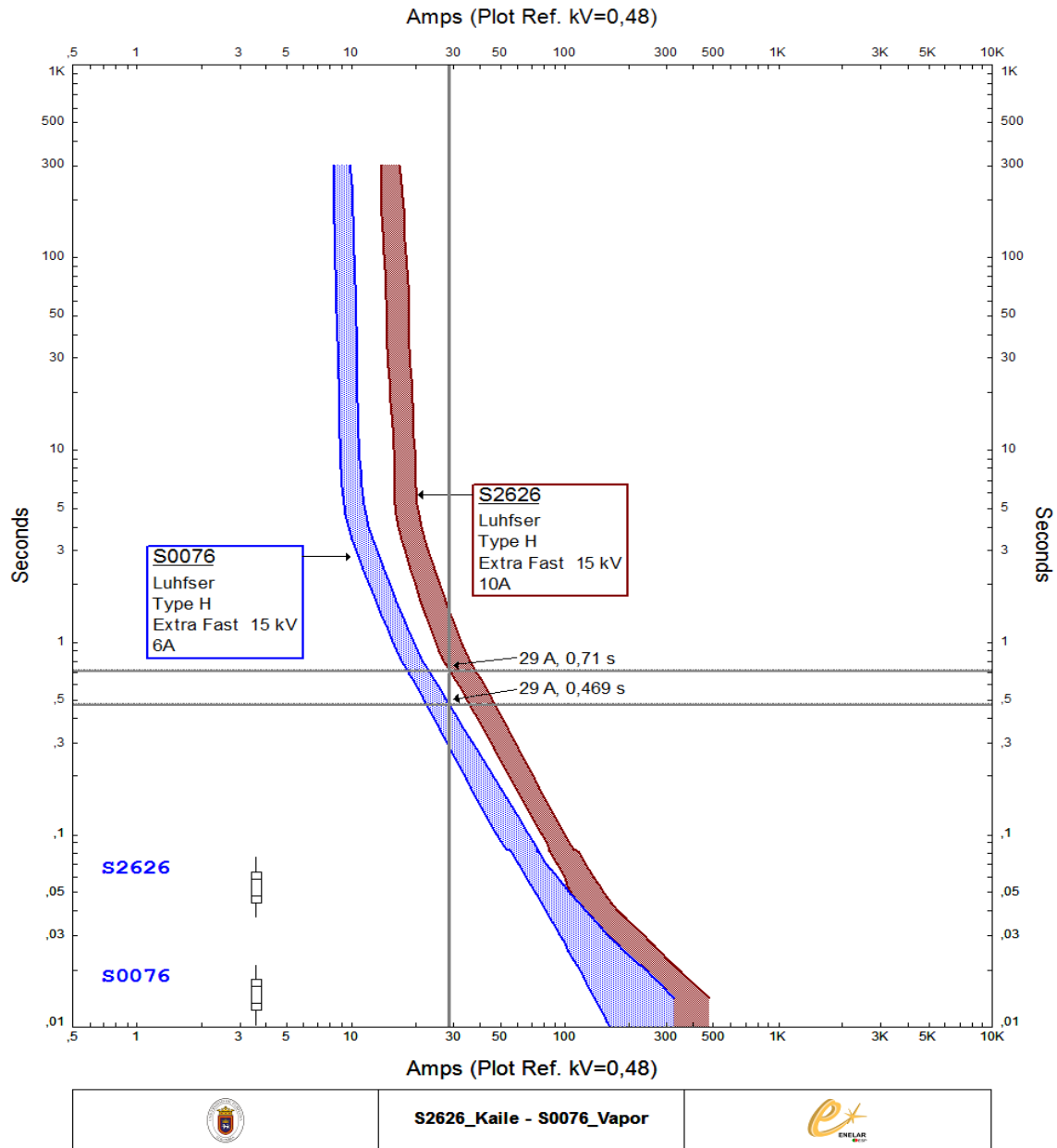


Ilustración 38: Análisis de coordinación de protecciones para los seccionadores Kaile y el vapor.

$$0,469 < 0,71 * 75\%$$

$$0,469 \text{ s} < 0,53 \text{ s}$$

El criterio se cumple, pero debido a que ya se han coordinado los dos seccionadores del vapor, es prudente realizar la transición hacia los fusibles tipo K, a continuación se va a analizar tal opción, el fusible tipo K se va a proponer en el fusible protegido, equivalente al seccionador S2626, llamado Kaile.





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

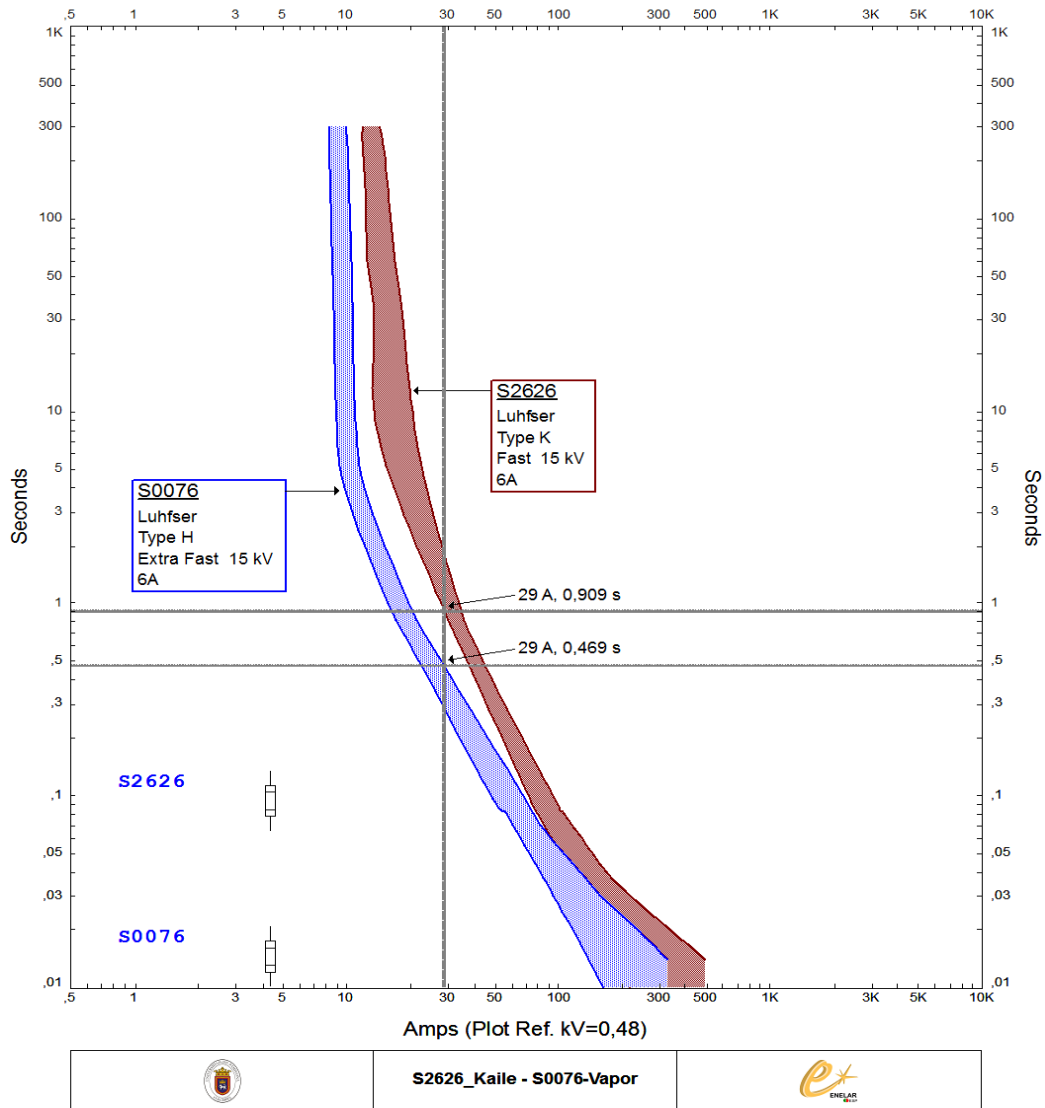


Ilustración 39 Análisis de configuración número 2 para coordinación de protecciones para los seccionadores Kaile y el Vapor.

$$0,406 < 0,909 * 75\%$$

$$0,406 \text{ s} < 0,682 \text{ s}$$

En el cual el criterio se vuelve a cumplir, por lo tanto se selecciona el fusible con menor tiempo, por lo que se selecciona el fusible tipo H de 10 A, ya que su tiempo es de 0,71 segundos en comparación con el tipo K de 6 A, que tiene un tiempo de inicio de 0,909 segundos.

Continuando el orden de la tabla 3, la siguiente coordinación es entre el S0078 y el S2626; pero analizando los valores de las corriente nominales, ambos están en el orden de los 3A, diferenciado solo por los decimales y revisando valores de cortocircuito, el del primer



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

El fusible es de 49 A y el fusible protector es de 44 A, indicando una diferencia de tan solo 5 A, lo cual es muy pequeña, para realizar un estudio de coordinación de protecciones en un nivel 3, adicionalmente la diferencia entre un seccionador y el otro es de 20 kVA y se encuentran separados por aproximadamente 500 metros. En base a lo anterior se omitirá el S0078 en la coordinación, ya que este posee la corriente más cercana al seccionador aguas arriba, por lo que se puede realizar una mejor coordinación entre el seccionador aguas abajo (S2626) y el seccionador aguas arriba (S0848).

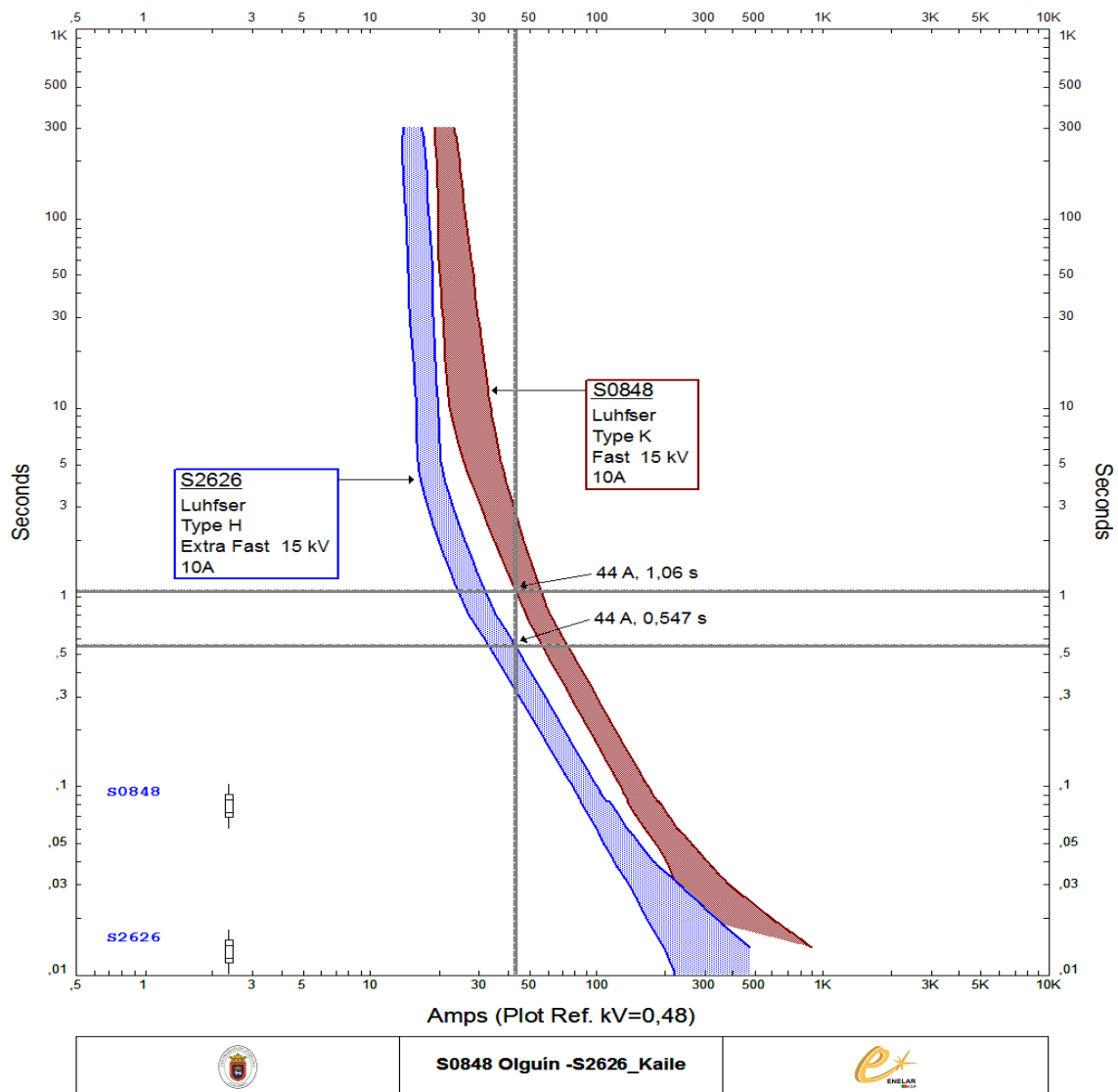


Ilustración 40: Configuración para fusibles del seccionador Oguín y Kaile

$$0,547 < 1,06 * 75\%$$

$$0,547 \text{ s} < 0,795 \text{ s}$$



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

Tal como se puede evidenciar el fusible protector, el S2626, denominado Olguín, está parametrizado como tipo H de 10 A y el S0848 como un tipo K de 10 A, el criterio aplica, adicionalmente, se tiene encuentra la corriente nominal de ese punto eléctrico, que es de 7 A, por lo que el valor de y tipo de fusible seleccionado en el S0848 es el indicado, de lo contrario, se hubiese tenido que implementar un tipo H de 20 A, ya que el de 15 A no coordina con el de 10 A, quedando el valor del fusible protegido muy sobredimensionado, lo que implica un mayor costo, además que no se realizaría la transición a los fusibles tipo K. A continuación se analiza el siguiente nivel, donde los fusibles del seccionador S0848 se configuran como fusibles protectores, mientras que el siguiente seccionador, el S0080, se configura como sistema de protección de respaldo.

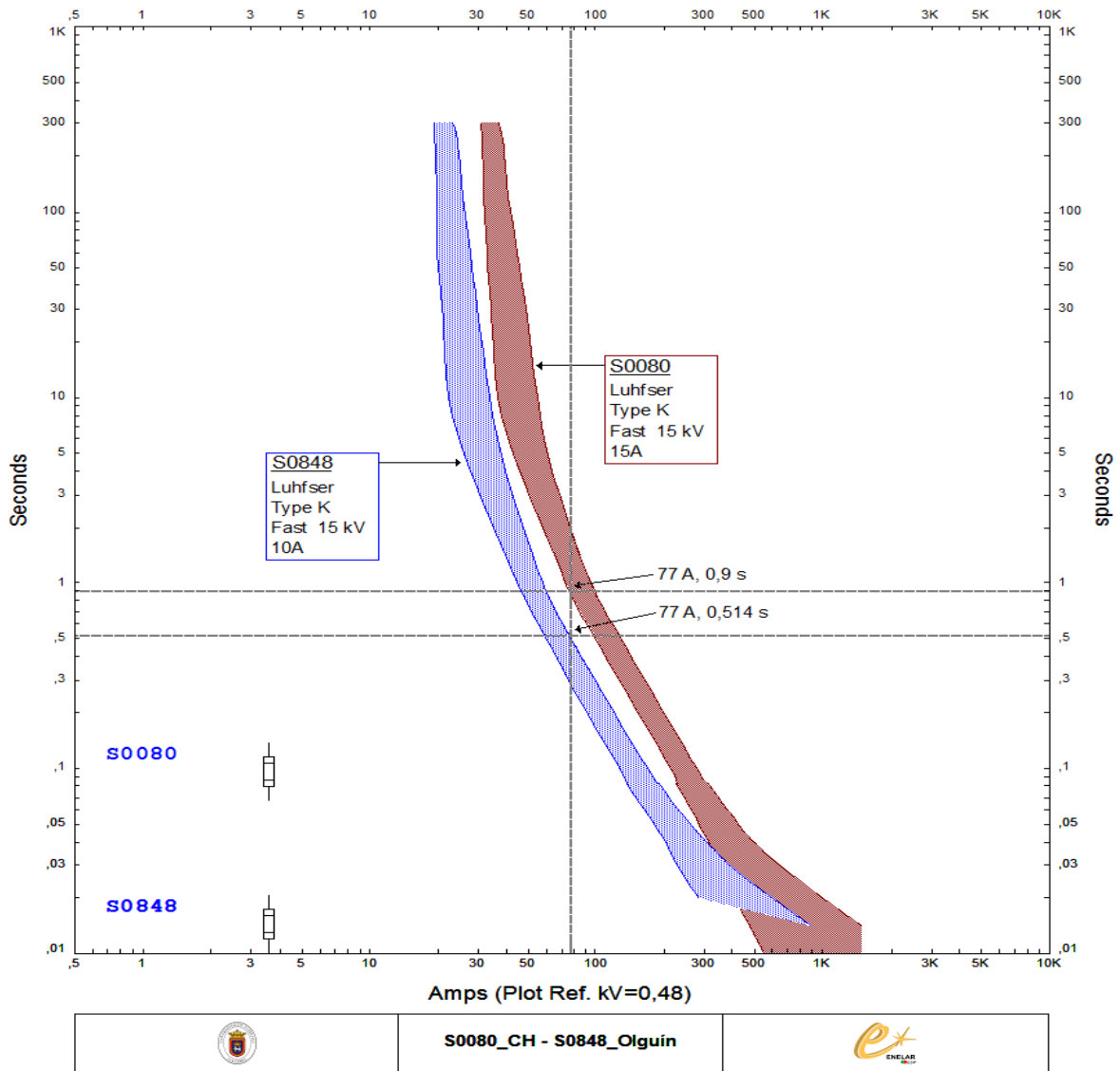


Ilustración 41: Propuesta de fusibles para el seccionador Costa Hermosa y Olguín



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

$$0,514 * 0,9 * 75\%$$

$$0,514 s < 0,675 s$$

Como se aprecia, el S0848 realiza su apertura en un tiempo máximo de 0,514 s y el S0080, inicia su proceso de fundición en un  $t = 0.9$  s, y aplicando la fórmula del 75%, se verifica la coordinación para una  $I_{cc} = 77$  A, en este punto ya se ha realizado la transición por completo a los fusibles tipo K, ya que se encuentran tanto en el fusible protector como en el protegido.

En este nivel de coordinación de protecciones, para asegurar la selectividad de zona, es necesario que la  $I_{cc}$  de un seccionador sea mayor que la del otro seccionador aguas abajo, adicionalmente, la coordinación se realiza fusible-fusible; pero el que está de respaldo se convierte en fusible protector en el siguiente nivel.

Continuando en el orden ascendente de la tabla 3, continúa el S0290; con una  $I_n$  de 22 A y una  $I_{cc} = 136$  A.; su seccionador aguas abajo, el S0080, el cual tiene una  $I_n = 14$  A y una  $I_{cc} = 115$  A y el seccionador aguas arriba, S2629 con  $I_n = 25$  y  $I_{cc} = 155$  A, dado que estos tres seccionadores tienen una diferencia de corriente pequeña para su nivel, por lo que implica quitar uno de ellos, inicialmente se descarta el S0080, ya que este se encuentra coordinado con el S0848, por lo que ahora se debe escoger entre los dos restantes; se decide bypassar el S0290, ya que la diferencia de carga entre este, y el seccionador aguas abajo es de 80 kVA, aunque parece una potencia grande, en realidad no lo es para el nivel 5, adicionalmente la distancia que los separa es inferior a 1 km.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

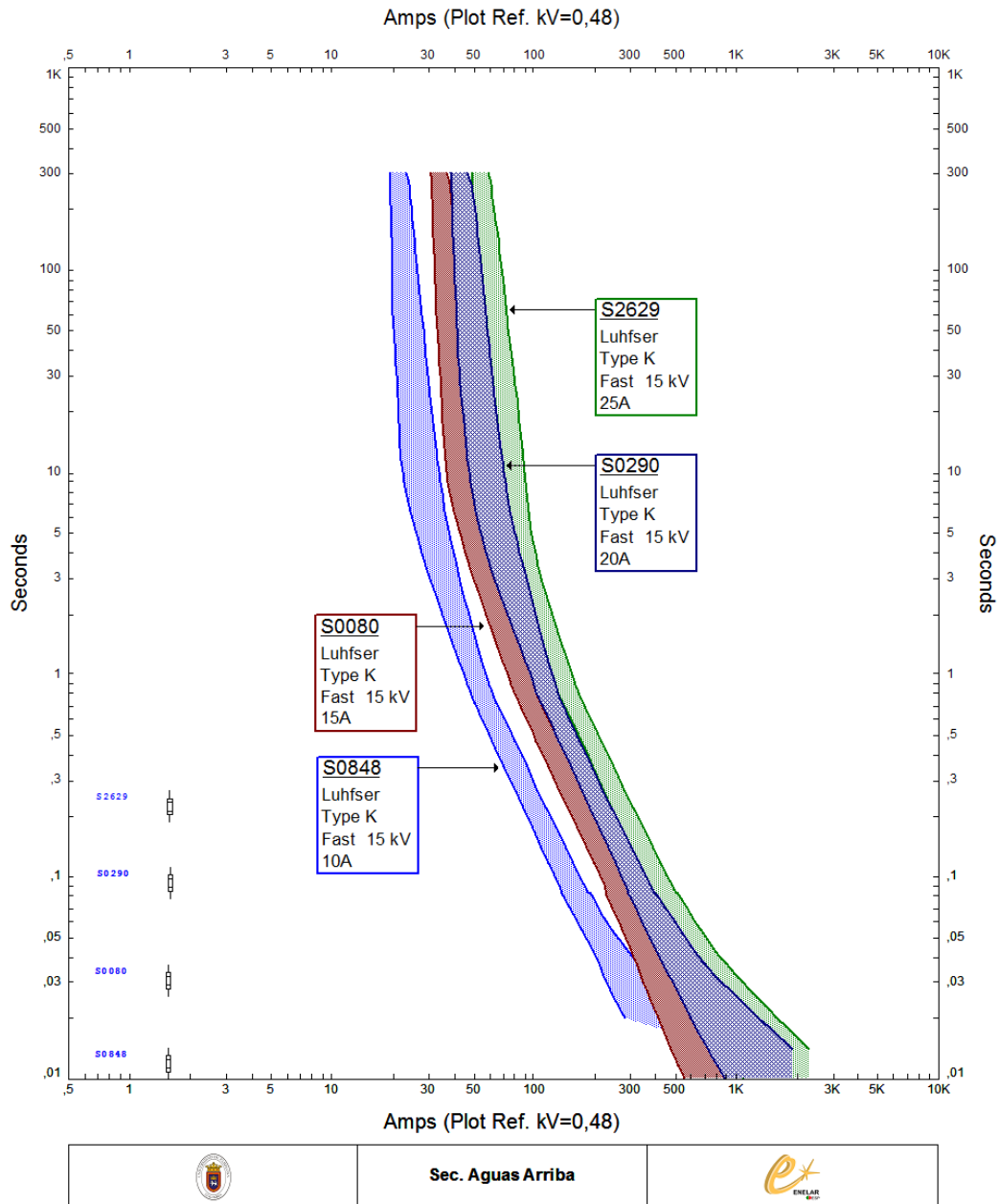


Ilustración 42: Muestra la incapacidad de coordinar un fusible tipo K de 20A con el de 15 A o de 25 A del mismo tipo.

De acuerdo a lo anterior nos queda tomar el S2629 como protección de respaldo, con tipo K de 25 A, ya que como se pudo apreciar en la gráfica anterior, el tipo K de 20 A no coordina bajo el criterio de coordinación fusible-fusible con el de 15 A del S0080, y el S0080 con el tipo K de 15 A, con la configuración de sus fusibles como protectores.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

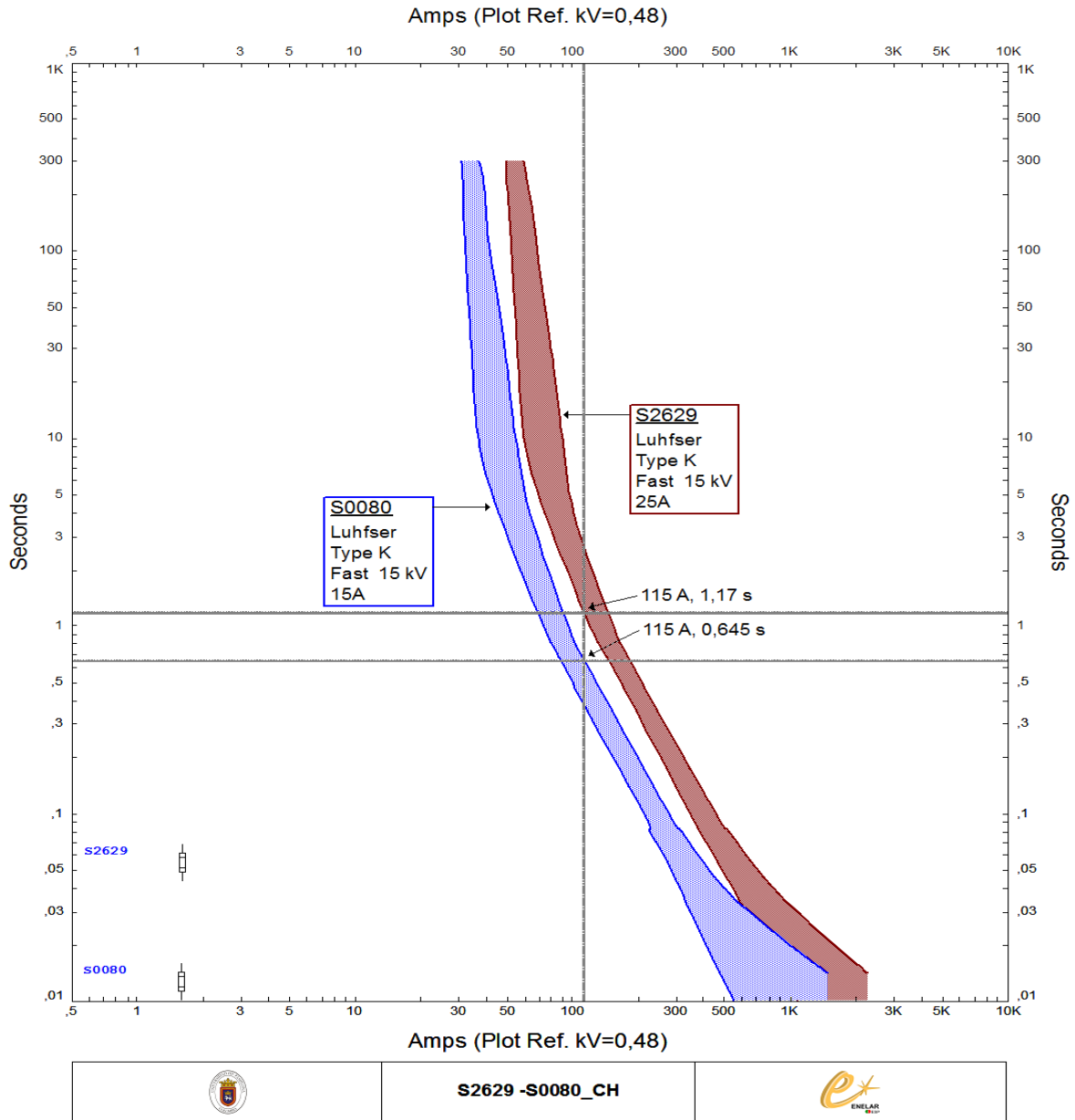


Ilustración 43: Propuesta S2629 con tipo K de 25A y el S0080 de 15 A.

$$0,645 < 1,17 * 75\%$$

$$0,645 \text{ s} < 0,877 \text{ s}$$

Con la configuración planteada, se puede apreciar que se cumple el criterio del 75%, realizando toda la coordinación fusible-fusible para el ramal de las veredas del alimentador 4.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

### 4.5. Análisis de la configuración del reconectador

Se parte analizando las configuraciones de los intentos

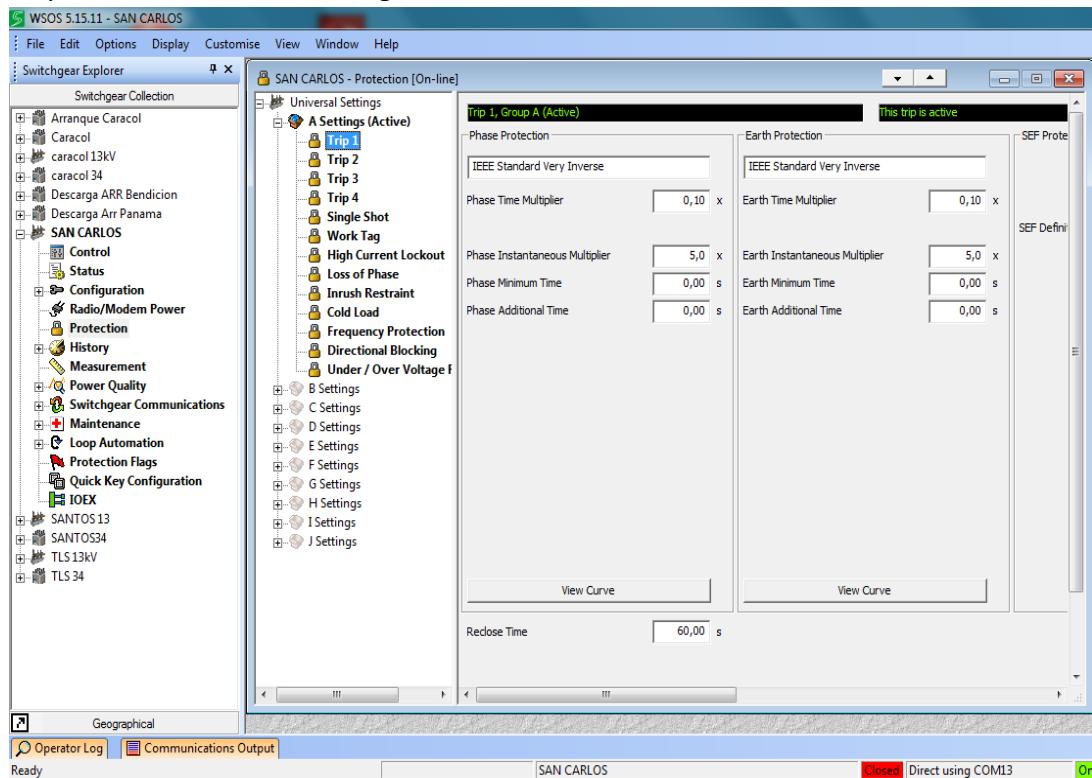
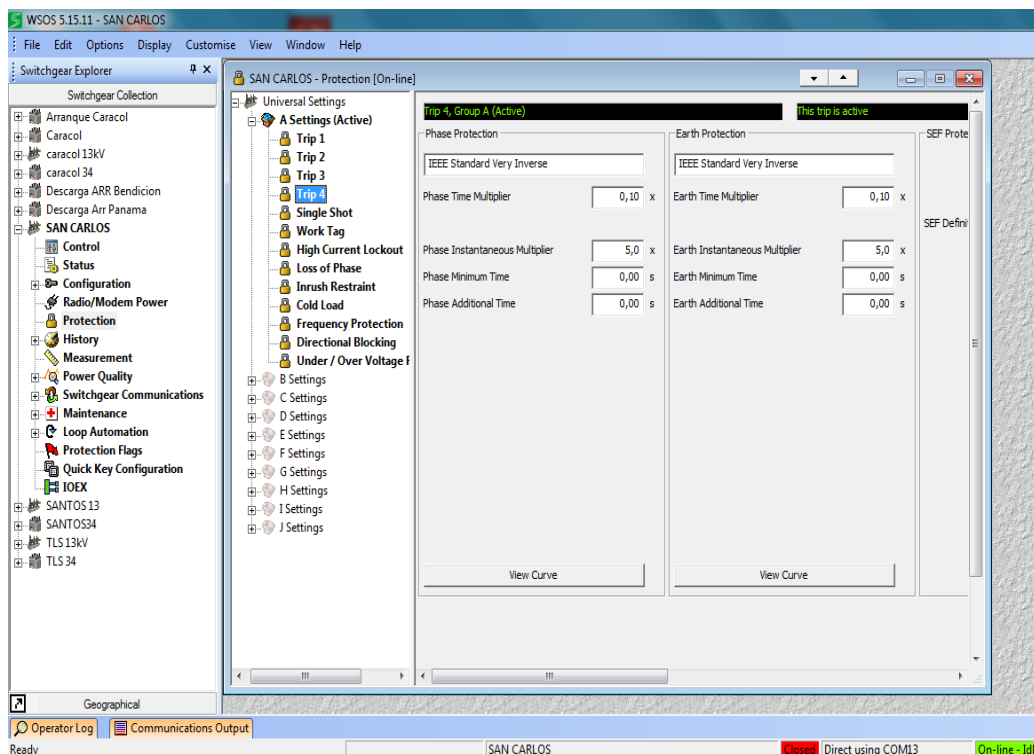


Ilustración 44: Software WSOS muestra configuración del trip 1.

Este reconectador posee 4 intentos de reconexión, lo que permite mejorar la selectividad, desafortunadamente, actualmente las cuatro configuraciones o “trip” como se indica en el software están ajustadas con los mismos parámetros, desaprovechando su capacidad y reduciendo la capacidad de protección, tal como se muestra en la siguiente figura, donde se aprecia el “Trip 4” con la misma configuración del “Trip 1”.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO



*Ilustración 45: Configuración del trip 4 del reconector San Carlos*

## 4.6. Propuesta final

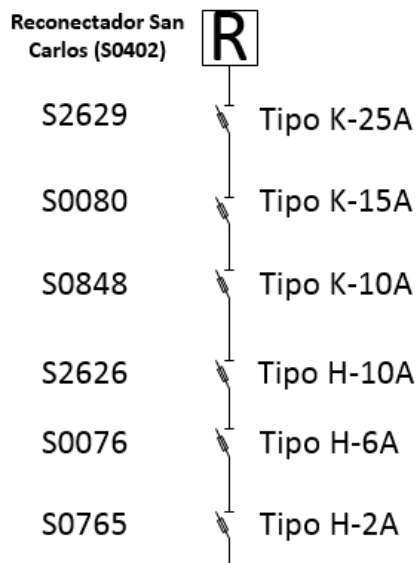
Seccionador	Modo	Tipo	Valor
S2629	Cortacircuito	K	25 A
S0290	Maniobra	-	-
S0080	Cortacircuito	K	15 A
S0848	Cortacircuito	K	10 A
S0078	Maniobra	-	-
S2626	Cortacircuito	H	10 A
S0076	Cortacircuito	H	6A
S0765	Cortacircuito	H	2 A

*Tabla 3: Propuesta de protección para el ramal de las veredas.*





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

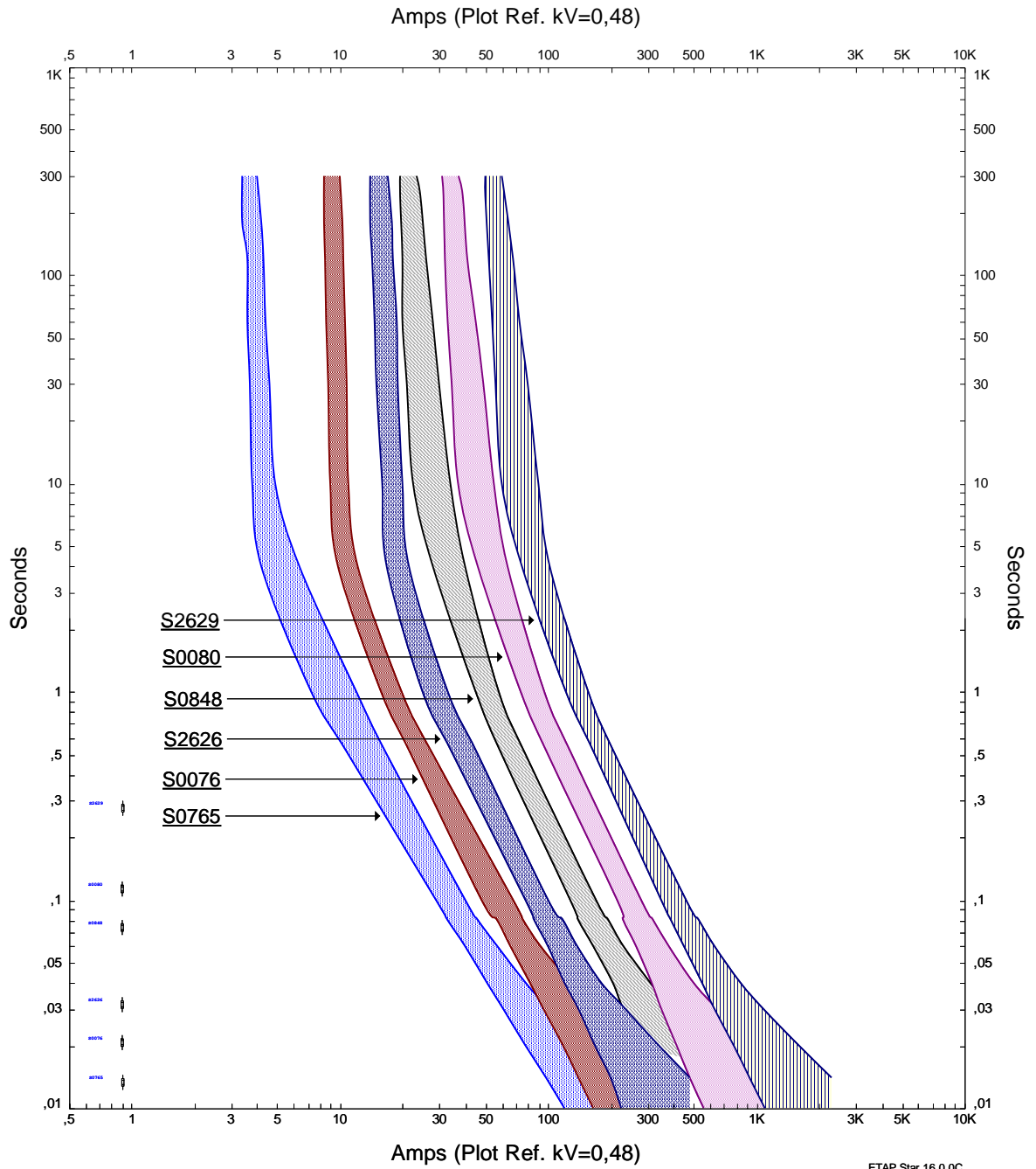


*Ilustración 46: Propuesta de configuración con el tipo y valor de fusible.*

Puede parecer contradictorio que la mejor manera de coordinar protecciones, sea quitando elementos de protección; pero tal como se evidencia, solo aumentaría los gastos, ya que requeriría cambiar fusibles del seccionador protector y el seccionador protegido, donde solo el seccionador protegido asegura el despeje de la falla, por lo que se sugiere que dos seccionadores dejen de ser del tipo de protección, y solo operen como seccionadores de maniobra, esto indica que operaran para maniobras programadas y mediante la intervención humana, para conseguir tal resultado se debe “bypassear” y la manera más fácil es implementar valores de fusibles extremadamente altos, que garantizan la no operación de los mismos ante una falla.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**



	<b>Star17</b>	
Project: Ramal Veredas Location: Zona rural de Arauca Contract: 264 de 2018 Engineer: (c) José Luis Díaz Torres		Date: 05-18-2018 SN: 4359168 Rev: Base Circuit: AR0104

Ilustración 47: Grafica de Tiempo-Corriente de los fusibles de los seccionadores propuestos



## 5. Conclusiones

- Para realizar el estudio de coordinación es importante reconocer todo el sistema eléctrico, pues esto permite conocer con total claridad, lo que se posee, sus características y que le afecta.
- El valor y tipo de fusible va a estar sujeto a la casa fabricante, para lo que en el estudio de coordinación de protecciones se debe tener en cuenta, ya que se deben trabajar con datos de posibles adquisiciones para su posterior implementación.
- La información inicialmente se obtiene del documento de eventos; pero dado que en estos no siempre se registran todos los seccionadores asociados aun mismo un evento, ya que depende de las llamadas de los usuarios, y en muchas de las zonas a tratar la cobertura de señal telefónica es pésima, se adquirió información complementaria con los operarios en campo, los cuales conocen a detalle las zonas en las que trabajan.
- Debido a que los fusibles instalados del lado primario de los trafos son tipo H, se decidió continuar con estos en los primeros fusibles aguas arriba, con el fin de realizar una transición entre una reacción extra rápida y otra simplemente rápida, correspondiente a los tipo K, a medida que un fusible se hace más lento, aumenta su capacidad de coordinar con otros fusibles y demás dispositivos de protección como el reconectador.
- A medida que se implementan fusibles más rápidos, también se debe aumentar el valor de los mismos, con el fin de poder mantener la coordinación, llegando a obtener valores desproporcionales entre la corriente nominal en el seccionador y el valor del fusible.
- La idea de la coordinación de protecciones principalmente es aislar la falla, con el fin de evitar comportamientos anormales en las demás zonas; pero adicionalmente es evitarle gasto innecesario a la empresa, ya que al implementar las protecciones adecuadas se evitan fallas permanentes, que son muy costosas.
- Si al realizar el estudio de coordinación fusible-fusible, no es posible realizar asegurar los criterios, se debe eliminar a uno de los dos, de lo contrario, ante una falla se sobre corriente, se dañaran ambos fusibles, aumentando el gasto para la empresa sin una ventaja.
- Para una adecuada coordinación reconectador-fusible, se debe asegurar que el reconectador opere ante fallas autoextinguibles o transitorias; pero si la falla persiste, opere el fusible para evitar el bloqueo del reconectador, ya que la configuración actual, no garantiza el criterios mencionado, es importante recalcar que se deben programar al menos tres intentos y lo ideal son cuatro, cada uno con su propia configuración.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Vrio, "Fundamentos de electricidad. Sistema eléctrico.," *www.eoi.es*, 2015. [Online]. Available: <http://www.eoi.es/blogs/merme/fundamentos-de-electricidad-sistema-electrico/>.
- [2] Ecured, "Transformador eléctrico," *Ecured.cu*. [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Transformador\\_eléctrico](https://www.ecured.cu/Transformador_eléctrico). [Accessed: 17-May-2018].
- [3] *www.electrical4u.com*, "Electrical Power Transformer | Definition and Types of Transformer," *www.electrical4u.com*. [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/electrical-power-transformer-definition-and-types-of-transformer/>. [Accessed: 24-May-2018].
- [4] 123RF, "Transformador De Potencia De Alta Tensión Fotos, Retratos, Imágenes Y Fotografía De Archivo Libres De Derecho. Image 40954557." [Online]. Available: [https://es.123rf.com/photo\\_40954557\\_transformador-de-potencia-de-alta-tension.html](https://es.123rf.com/photo_40954557_transformador-de-potencia-de-alta-tension.html). [Accessed: 22-May-2018].
- [5] B. Afework, G. Dharan, K. Stenhouse, and J. Donev, "Distribution transformer - Energy Education," *energyeducation.ca*, 2018. [Online]. Available: [http://energyeducation.ca/encyclopedia/Distribution\\_transformer](http://energyeducation.ca/encyclopedia/Distribution_transformer). [Accessed: 28-May-2018].
- [6] "Difference between Power Transformer and Distribution Transformer," *electrical Engineering Portal*, 2011. [Online]. Available: <http://electrical-engineering-portal.com/difference-between-power-transformer-and-distribution-transformer>. [Accessed: 27-May-2018].
- [7] J. Flechas, "Transformadores de medida.," *ACIEM*, no. Protecciones en sistemas eléctricos de potencia, pp. 1–46, 2018.
- [8] *Electrical4u*, "Instrument Transformers," *www.electrical4u.com*. [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/instrument-transformers/>. [Accessed: 02-May-2018].
- [9] dps-cmrd, "DPS (Dispositivos Protectores contra Sobretensiones)," *dps-cmrd*, 2009. [Online]. Available: <http://dps-cmrd.blogspot.com/>. [Accessed: 17-Jun-2018].
- [10] Fammie Fami S.A., "Seccionador portafusible," *www.fami.com.ar*. [Online]. Available: [http://www.fami.com.ar/productos/Seccionador+XS/Seccionador+portafusible\\_22](http://www.fami.com.ar/productos/Seccionador+XS/Seccionador+portafusible_22). [Accessed: 20-May-2018].
- [11] L. Martinez, *Coordinación de protecciones de la línea de alimentación AQ0102 en media tensión, para las veredas del distrito 8 de la empresa de energía Enelar ESP*. Pamplona, 2017.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

- [12] Monografias.com, “Introducción a las instalaciones y sistemas eléctricos.” [Online]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos101/introduccion-instalaciones-y-sistemas-electricos/introduccion-instalaciones-y-sistemas-electricos.shtml>. [Accessed: 12-May-2018].
- [13] Nulec, “ADVC Extended Protection Functionality,” *Schneider Electric*, p. 21.
- [14] Wikipedia, “Recloser,” *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Recloser>. [Accessed: 01-Mar-2018].
- [15] Schneider, “U\_Series ACR with ADVC Controller.” Schneider, p. 84, 2008.
- [16] Schneider, “Máxima protección. SEPAM series 10, 20, 40, 80.” *Schneider Electric*, p. 12.
- [17] RAE, “Falla,” *dle.rae.es*. [Online]. Available: <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=HXktHg8%7CHXnzSUT%7CHXpaYZn>.
- [18] A. del Libro., “Información general.” Arauca, 2018.
- [19] G. Metz-Noblat, B; Dumas, F; Thomasset, “Cuaderno Técnico n° 158 Cálculo de corrientes de cortocircuito,” *Schneider Electric*, p. 38.
- [20] S. Ramírez, *Eléctricos Protección de Sistemas Eléctricos*, 1st ed. Manizales, 2003.
- [21] C. Trif and C. Bif, “Cálculo intensidad de cortocircuito,” no. lcc.
- [22] “Tipos de cortocircuitos a considerar.” [Online]. Available: <http://roble.pntic.mec.es/adog0009/1.1.html>. [Accessed: 27-May-2018].
- [23] Grupo Navarro, “> Cortocircuito Eléctrico ¡La falla culpable de la mayoría de incendios!” [Online]. Available: <https://gruponavarro.pe/cortocircuito-electrico/>. [Accessed: 09-May-2018].
- [24] J. Flechas, “Conceptos básicos,” *ACIEM*, no. Protecciones en sistemas eléctricos de potencia, p. 130, 2016.
- [25] GERS. and CAGS, “Protecciones en sistemas de distribución,” *ACIEM*, p. 75, 2018.
- [26] J. Flechas, “Protección principal y de respaldo.” *ACIEM*, no. Protecciones en sistemas eléctricos de potencia., pp. 1–30, 2018.
- [27] J. Flechas, “Coordinaciones de protecciones en sistemas de potencia,” *ACIEM*, no. Protecciones en sistemas eléctricos de potencia, pp. 1–145, 2018.
- [28] J. Flechas, “Protecciones con fusibles,” *ACIEM*, no. Protecciones en sistemas eléctricos de potencia., pp. 1–58, 2018.
- [29] Amin de la Rosa, “Fusibles.” [Online]. Available: [http://html.rincondelvago.com/fusibles\\_2.html](http://html.rincondelvago.com/fusibles_2.html). [Accessed: 21-May-2018].



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

- [30] Codensa, “ET501 Fusibles para MT tipo H, K y T,” 2011. [Online]. Available: [http://ikinormas.micodensa.com/Especificacion/aisladores/et501\\_fusibles\\_mt\\_tipo\\_h\\_k\\_t](http://ikinormas.micodensa.com/Especificacion/aisladores/et501_fusibles_mt_tipo_h_k_t). [Accessed: 15-May-2018].
- [31] G. (7) Cardoso, G. Marchesan, and L. F. F. Gutierrez, “Recloser-fuse coordination protection for distributed generation systems: methodology and priorities for optimal disconnections,” *12th IET Int. Conf. Dev. Power Syst. Prot. Copenhagen, Dinamarca*, p. 12.68-12.68, 2014.
- [32] M. H. Kim, S. H. Lim, and J. C. Kim, “Improvement of recloser-fuse operations and coordination in a power distribution system with SFCL,” *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 21, no. 3 PART 2, pp. 2209–2212, 2011.
- [33] Energyco, “SPARD - OMS,” *energy COMPUTER SYSTEM*. [Online]. Available: <http://energyco.com/soluciones/oms/>. [Accessed: 07-Mar-2018].
- [34] Energyco, “SPARD - TCS,” *energy COMPUTER SYSTEM*. [Online]. Available: <http://energyco.com/soluciones/tcs/>. [Accessed: 07-Mar-2018].
- [35] Empresa de energía de Arauca, “Historia,” *enelar.om.co*. [Online]. Available: <http://www.enelar.com.co/content.php?id=2>. [Accessed: 10-May-2018].
- [36] E. E.S.P., “Información del sistema eléctrico departamental.” Arauca, 2018.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

# Anexo A: Placa de propiedades de los transformadores del municipio de Arauca

**SIEMENS TRANSFORMADOR**

Tipo: cKLU M 138 7-14 s/34.5    Número Serial: 3894210    Refrigeración: ONAN/ONAF

Potencia ONAN/ONAF: kVA 15000/18000    Mes/Año Fabricación: 09/2011    Norma General: ICONTEC

Número de fases: 3    Frecuencia: Hz 60    BIL AT/BT: kv 200/110

Tensión Primaria: V 34500    Tensión Secundario: V 13800/7967    Grupo Conexión: Dyn5

Corriente Primaria ONAN/ONAF: A 251/301    Corriente Secundario ONAN/ONAF: A 627/753    Tiempo máximo Corto Circuito: s 2

Impedancia: % 10.5    Corriente C.C: kA 9.72    Incremento Temp. Devanados: °C 65

Peso Parte Activa: kg 11880    Líquido Aislante: Aceite Inhibido    Incremento Temp. Aceite: °C 60

Peso Total del Líquido Aislante: kg 5312    Volumen Total Líquido Aislante: l 6782    Temp. ambiente máxima: °C 40

Presión de Diseño del Tanque: kPa 101.3    Peso Total: kg 23100    Altura Máxima de Operación: m 1000

Cliente: ENELAR ESP    Numero de la Orden de Compra: 022    Material de los Devanados AT/BT: Cu/Cu

"Contiene niveles no detectables de PCB's (menos de 2 PPM) al momento de fabricación."

COMUTADOR DE DERIVACIONES  
¡ MANIOBRESE ÚNICAMENTE SIN TENSION !

Transformadores de Corriente Dentro del Tanque				
Transformador	Relación [A]	Potencia	Precisión	Localización
TC1, TC2, TC3	300:5	20 VA	5P20	U, V, W
TC4, TC5, TC6				U, V, W
TC7, TC8, TC9	750:5	20 VA	5P20	x, y, z
TC10, TC11, TC12				x, y, z
TC13	754:2	20 VA	3%	y

ALTA TENSION				BAJA TENSION			
Conexión	Tensión [V]	Posición Conmutador	Unión de las Derivaciones	Bornes	Conexión	Tensión [V]	Bornes
	36225	1	A0 B0 C0 D0 E0 F0	U V W		13800/7967	pn
	35363	2	A1 B0 C1 D0 E1 F0				x
	34500*	3	A1 B1 C1 D1 E1 F1				z
	33638	4	A2 B1 C2 D1 E2 F1				pn
	32775	5	A2 B2 C2 D2 E2 F2				y
							z

\*CONEXIÓN DE DESPACHO    REF: 0/9055    FABRicado EN COLOMBIA

Ilustración 48: Placa de datos del transformador de potencia Siemens. [36]



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

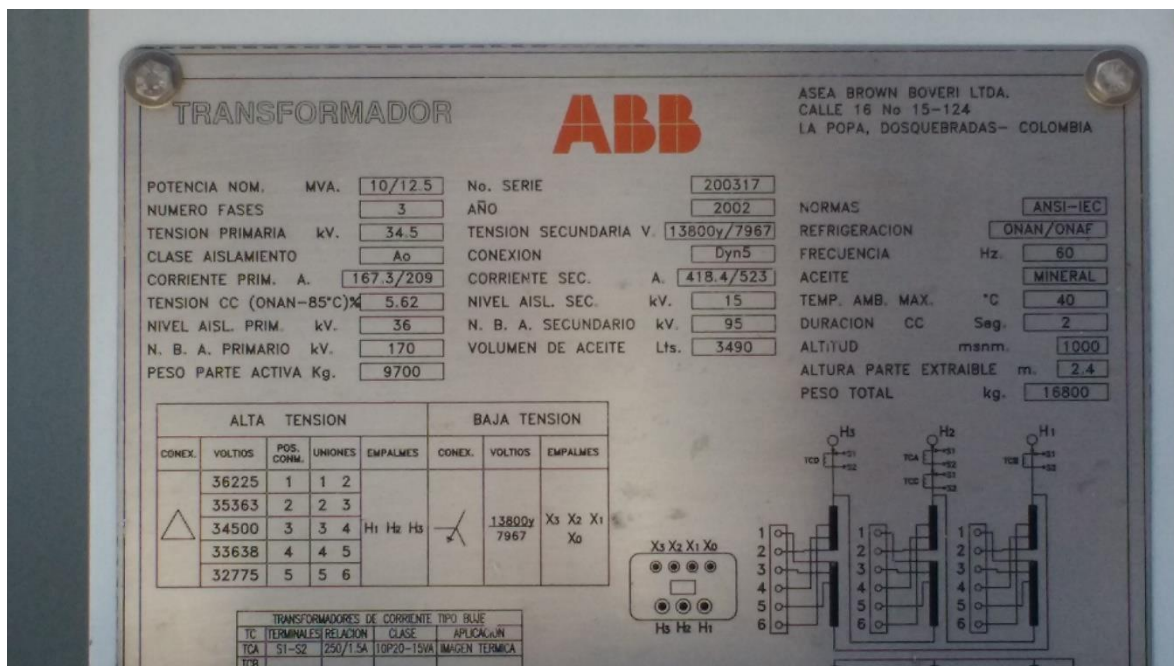


Ilustración 49: Placa de datos del transformador de potencia ABB. [36]





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

## Anexo B: Reporte de fallas

NUMERO_EVENTO	MUNICIPIO	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACION	CODIGO	NOMBRE	DIRECCION	POBLACION
192509	PUERTO RONDON	13/01/2017 01:10:50	13/01/2017 01:33:53	23,05	S0519	SECCIONADOR	PTO RONDON CASCO URB	U
192512	PUERTO RONDON	13/01/2017 01:24:16	13/01/2017 07:26:30	362,23	S0520	SECCIONADOR	BARRIO FLOR DE MI LLANO	U
192516	ARAUCA	13/01/2017 06:01:20	13/01/2017 06:29:29	28,15	S1901	SECCIONADOR	VD CAÑO JESUS	R
192517	ARAUCA	13/01/2017 06:05:37	13/01/2017 11:20:33	314,93	S2334	SECCIONADOR	VD FELICIANO	R
192518	ARAQUITA	13/01/2017 06:11:17	13/01/2017 08:32:23	141,1	S1049	SECCIONADOR	VDA LA PICA	R
192518	ARAQUITA	13/01/2017 06:11:17	13/01/2017 08:32:23	141,1	S1049	SECCIONADOR	VDA LA PICA	R
192519	TAME	13/01/2017 06:12:21	13/01/2017 08:08:43	116,37	T3628	TRAFO	VDA. CAÑO GUARAPO / F	R
192520	ARAUCA	13/01/2017 06:28:47	13/01/2017 06:29:17	0,5	AR0201	ALIMENTADOR	AR0201	R
192522	ARAUCA	13/01/2017 06:49:53	13/01/2017 07:31:44	41,85	T0249	TRAFO	CR 27 N 28 - 55 / B. MIR	U
192523	ARAUCA	13/01/2017 06:56:25	13/01/2017 07:36:27	40,03	S0018	SECCIONADOR	CLL 27 CR 22	U
192526	ARAUCA	13/01/2017 07:22:09	13/01/2017 09:18:36	116,45	S1310	SECCIONADOR	VDA NUBES B	R
192526	ARAUCA	13/01/2017 07:22:09	13/01/2017 09:18:36	116,45	S1310	SECCIONADOR	VDA NUBES B	R
192527	TAME	13/01/2017 07:26:55	13/01/2017 09:26:53	119,97	T7024	TRAFO	VDA. CAÑO LIMON / CASE	R
192529	ARAUCA	13/01/2017 08:05:45	13/01/2017 08:23:13	17,47	T5229	TRAFO	CL. 22 # 21 - 08 / BR. 7 DE	U
192534	SARAVENA	13/01/2017 08:58:09	13/01/2017 11:45:38	167,48	T0951	TRAFO	VDA AGUA SANTA / FCA E	R

OBSERVACION_LLAMADA	OBSERVACION_APERTURA	OBSERVACION_CIERRE
CASCO URBANO	Se abre el S0519 y el Seccionador Puerto Colombia y Se procede a cerrar S0288 01:17	Cerrado falla desconocida. Bladimir Gallardo
DE MI LLANO	Se abre el S0520 y Se procede a cerrar S0519 Cerrado falla desconocida. Bladimir Gallardo	SE CIERRA SECCIONADOR NO SE ENCONTRO NINGUNA FALLA. RPT. FIDEL
Edward Diaz - sector a media luz.	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 30AMP REPORTA MANLIO MAYO
T- 7275 Sergio Parales - sin servicio de energía, cañuelas caídas	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 9AMP REPORTA CARLOS HEREDIA
María Cacua - sector a media luz.	DOS FUSIBLES QUEMADOS	REPARADO DOS FUSIBLES DE 12AMP REPORTA JOSE ORDOÑES
María Cacua - sector a media luz.	DOS FUSIBLES QUEMADOS	REPARADO DOS FUSIBLES DE 12AMP REPORTA JOSE ORDOÑES
Miguel Rojas - sin servicio de energía, cañuela caída	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 1AMP REPORTA ROSENDO FARFAN
	Maniobra hecha desde SCADA CORRIENTES DE FALLA Fa-0 Fb-0 Fc-205 N-200	Maniobra hecha desde SCADA CORRIENTES DE FALLA Fa-0 Fb-0 Fc-205 N-200
Juan Martinez - sin servicio de energía.	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 2AMP REPORTA MANLIO MAYO
Carlos Pacheco - sin servicio de energía.	FUSIBLE QUEMADO POR UN AVE SOBRE LAS REDES	REPARADO UN FUSIBLE DE 20AMP REPORTA MANLIO MAYO CAUSA AVE SOBRE LAS
María Benavidez - sector a media luz.	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 12AMP REPORTA ROBINSON FERRAO
María Benavidez - sector a media luz.	FUSIBLE QUEMADO	REPARADO UN FUSIBLE DE 12AMP REPORTA ROBINSON FERRAO
Miriam Cubides - sin servicio de energía.	LINEA EN B.T REVENTADA	SE REMENDO LINEA EN B.T. Y SE CAMBIO 1 FUSIBLE DE 1 AMP RPT. RICARDO GUALI
Nidia Villamizar - sector a media luz.	FUSIBLE QUEMADO POR UN AVE SOBRE LAS REDES	REPARADO UN FUSIBLE DE 8AMP REPORTA MANLIO MAYO SE RETIRO AVE DE LAS F
Margarita Estupiñan - sin servicio de energía, cañuela caída	fusible quemado	se cambio se cambio 2 fusibles de 2 amp rpt. o. penagos

INFORME_EVENTO	CLASIFICACION	CODIGO CAUSA	DESCRIPCION CAUSA	CUADRILLA	EJECUTO	OR_APERTURA	ADADOR_CIERRE	CANTIDAD_FUSIBLES	AGENTES_EVENTO
Se abre el S0519 y el Seccionador Puerto Colombia y Se	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA			ortega	ortega		0
Se abre el S0520 y Se procede a cerrar S0519 Cerrado falla	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA			ortega	iramirez		0
Edward Diaz - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R10- ARAUCA	Manlio Mayo	munoz	munoz	1	1
Sergio Parales - sin servicio de energía, cañuelas caídas	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R18- CARACOL	Carlos Heredia	munoz	munoz	1	0
María Cacua - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R2- ARAQUITA COC	Alvaro Ordoñez Pedraz	munoz	munoz		5
María Cacua - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R2- ARAQUITA COC	Alvaro Ordoñez Pedraz	munoz	munoz	2	5
Miguel Rojas - sin servicio de energía, cañuela disparada	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R54 - TAME		munoz	munoz	1	1
Maniobra hecha desde SCADA CORRIENTES DE FALLA	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA			SCADA	SCADA		0
Juan Martinez - sin servicio de energía.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R10- ARAUCA		munoz	munoz	1	1
Carlos Pacheco - sin servicio de energía.	NOPROGRAMADC	26	Animal sobre la línea	R10- ARAUCA	Manlio Mayo	munoz	munoz	1	2
María Benavidez - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R16-TODOS LOS SAN	Robinson Ferrado	munoz	munoz	1	3
María Benavidez - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R16-TODOS LOS SAN	Robinson Ferrado	munoz	munoz		3
Miriam Cubides - sin servicio de energía.	NOPROGRAMADC	23	Línea en B.T. reventada	R54 - TAME		iramirez	iramirez		1
Nidia Villamizar - sector a media luz.	NOPROGRAMADC	26	Animal sobre la línea	R10- ARAUCA		munoz	munoz	1	2
Margarita Estupiñan - sin servicio de energía, cañuela caída	NOPROGRAMADC	1	DESCONOCIDA	R35- SARAVENA		iramirez	iramirez		1

Ilustración 50: Datos en el documento de eventos.



**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION ELECTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

# Anexo C: Estudio de flujo de carga con SPARD Distribution

Parameters :

Power Factor	Load Factor	Loss Factor	Demand Factor	Growth Factor
0.90	0.65	0.49	0.45	0.00

General Information: Total Power Sending : 5214.27 (kW)

Total Power Sending : 2550.72 (kVar)  
 Number of Transformers : 252  
 Total kVA Installed : 12502.50 (kVA)  
 Load in Feeder : 5064.110000 (kW)  
 Load in Feeder : 2452.150000 (kVar)  
 Energy Losses : 52976.360000 (kWh)  
 Power Loss : 150.160000 (kW)  
 Power Loss : 98.570000 (kVar)  
 Max Voltage Drop : 9.510000 (%)  
 Max Regulation : 10.510000 (%)  
 Current in Feeder : 242.850000 (A)  
 Total Length : 89.412400 (km)  
 Max Length : 42.941300 (km)

Source	Nodes	Load	Phase	Length (m)	Conductor	Load In Loading (%)	Load Node (kW)	Load Node (kVar)	Load Thru Section (kW)	Load Thru Section (kVar)	Current (Amp)	Voltage Reg (%)	Voltage (kV)
FED@0104	MVEL16067	MVEL16067	ABC	25.00	300XLPE15	69.39	0.00	0.00	5213.73	2549.07	242.85	0.02	13.80
MVEL16067	MVEL16973	MVEL16973	ABC	1.00	4/0	71.43	0.00	0.00	5213.66	2549.00	242.85	0.02	13.80
MVEL16973	MVEL17211	MVEL17211	ABC	1.00	336.4	45.82	0.00	0.00	5213.63	2548.93	242.85	0.02	13.80
MVEL17211	MVEL16068	MVEL16068	ABC	19.20	336.4	45.82	0.00	0.00	5212.94	2547.73	242.85	0.04	13.79
MVEL16068	MVEL16069	MVEL16069	ABC	18.50	336.4	45.82	0.00	0.00	5212.27	2546.88	242.85	0.06	13.79
MVEL16069	MVEL16070	MVEL16070	ABC	14.60	336.4	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.06	13.79
MVEL16069	MVEL17216	MVEL17216	ABC	28.30	336.4	45.82	0.00	0.00	5211.26	2545.12	242.85	0.09	13.79
MVEL16069	MVEL17222	MVEL17222	ABC	26.10	336.4	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.06	13.79
MVEL17216	MVEL17217	MVEL17217	ABC	44.20	336.4	45.82	0.00	0.00	5209.67	2542.37	242.85	0.13	13.78
MVEL17217	MVEL16071	MVEL16071	ABC	13.60	336.4	45.82	0.00	0.00	5209.18	2541.74	242.85	0.15	13.78
MVEL16071	MVEL16073	MVEL16073	ABC	25.70	336.4	45.82	0.00	0.00	5208.26	2540.55	242.85	0.17	13.78
MVEL16071	MVEL17219	MVEL17219	ABC	9.60	2/0	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.15	13.78
MVEL16071	MVEL17218	MVEL17218	ABC	37.00	336.4	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.15	13.78
MVEL16073	MVEL17160	MVEL17160	ABC	4.20	2/0	89.63	0.00	0.00	5189.60	2531.42	242.00	0.18	13.78
MVEL16073	MVEL16072	MVEL16072	ABC	2.00	4	0.61	18.23	8.83	18.23	8.83	0.85	0.17	13.78
MVEL17160	MVEL16074	MVEL16074	ABC	18.70	2/0	89.63	0.00	0.00	5187.69	2530.00	242.00	0.22	13.77
MVEL16074	MVEL16075	MVEL16075	ABC	27.10	2/0	89.63	0.00	0.00	5184.93	2527.94	242.00	0.28	13.76
MVEL16075	MVEL16077	MVEL16077	ABC	34.80	2/0	89.63	0.00	0.00	5181.38	2525.29	242.00	0.35	13.75
MVEL16077	MVEL17161	MVEL17161	ABC	4.70	2/0	89.11	0.00	0.00	5150.53	2510.23	240.59	0.36	13.75
MVEL16077	MVEL16076	MVEL16076	ABC	2.00	4	1.01	30.38	14.71	30.38	14.71	1.42	0.35	13.75
MVEL17161	MVEL47883	MVEL47883	ABC	10.00	2/0	89.11	0.00	0.00	5149.56	2509.37	240.59	0.39	13.75

Ilustración 51: Información de flujo de carga generada por el SPARD Distribution.



## Anexo D: Análisis de cortocircuito con SPARD Distribution

```

Impedancias de Falla:
Impedancia de Falla Monofásica = 0.000 + j0.000
Impedancia de Falla Bifásica = 0.000 + j0.000
Impedancia de Falla 2 Fases Tierra = 0.000 + j0.000
Impedancia de Falla Trifásica = 0.000 + j0.000
  
```

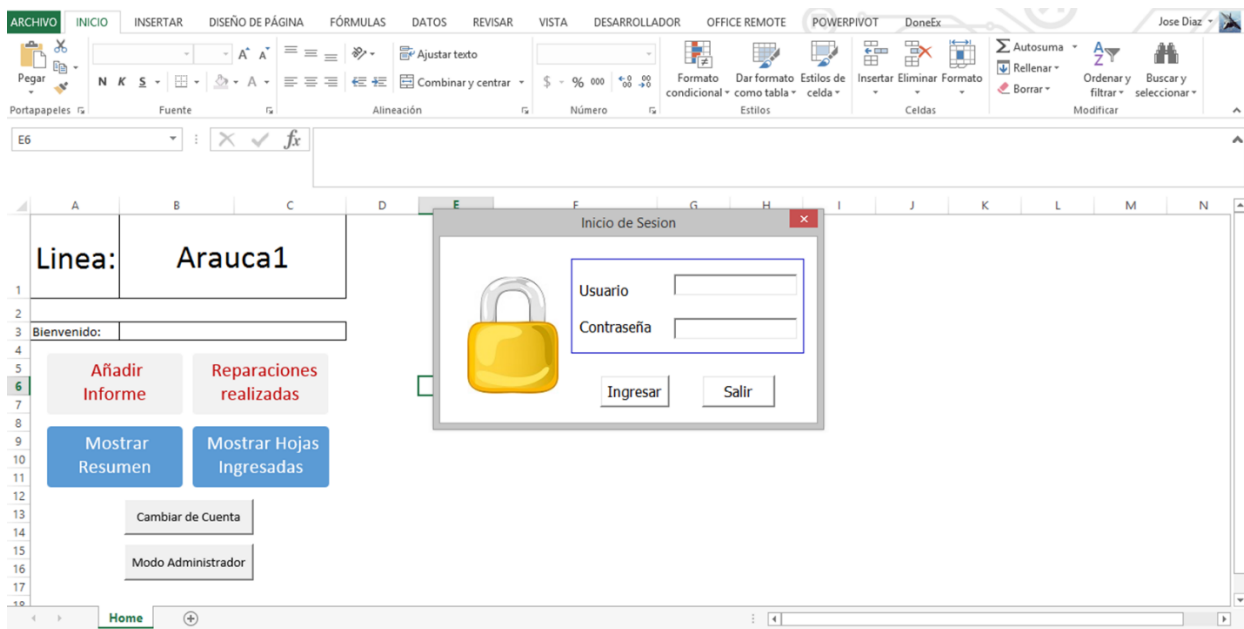
Nodo	Valores de Corto circuito			
	3 Fases (kA)	2 Fases (kA)	2 Fases Tierra (kA)	1 Fase (kA)
AMVEL35375-1	2.27	2.05	2.27	1.57
AMVEL35376-1	2.19	1.98	2.19	1.53
AMVEL35376-2	2.19	1.98	2.19	1.53
AMVEL35822-1	5.79	5.13	5.62	3.94
AMVEL35823-1	5.32	4.68	5.18	3.61
AMVEL35824-1	5.01	4.41	4.90	3.42
AMVEL35824-2	5.01	4.40	4.90	3.42
AMVEL35826-1	4.81	4.23	4.72	3.30
AMVEL35827-1	4.51	3.97	4.45	3.12
AMVEL35828-1	4.67	4.11	4.59	3.21
AMVEL35850-1	5.65	5.00	5.49	3.85
AMVEL35850-2	5.65	5.00	5.49	3.85
AMVEL35883-1	4.54	4.03	4.46	3.15
AMVEL35884-1	4.42	3.92	4.35	3.06
AMVEL35885-1	4.36	3.87	4.30	3.03
AMVEL35886	4.36	3.87	4.30	3.03
AMVEL35962	4.51	3.96	4.44	3.11
AMVEL36194-1	3.64	3.21	3.56	2.46
AMVEL36195	3.64	3.21	3.56	2.46
AMVEL39225-1	7.85	6.90	7.50	5.43
AMVEL39226	7.85	6.89	7.49	5.42
AMVEL39313	5.72	5.07	5.55	3.90
AMVEL39314	4.98	4.43	4.86	3.41
AMVEL39634	2.57	2.27	2.56	1.80
AMVEL40505-1	0.21	0.20	0.21	0.16
AMVEL56472-1	7.64	6.71	7.31	5.27
AMVEL56472-2	7.63	6.70	7.30	5.26
AMVEL60403	4.99	4.39	4.88	3.43
AMVEL61379	3.09	2.73	3.05	2.13
AMVEL63313	2.56	2.31	2.54	1.75
BMVEL60398	4.89	4.31	4.79	3.37
BMVEL60404	5.05	4.44	4.93	3.48
BMVEL60871	2.94	2.59	2.91	2.02
FED@0104	0.00	14.20	0.00	0.00
FMVEL45274-1	9.51	8.32	8.97	6.63

Ilustración 52: Datos generados por el SPARD, con la aplicación de cortocircuito.



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

# Anexo E: Programa desarrollado para llevar historial de las estructuras de las líneas





## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

Información de la estructura

REFERENCIA

MUNICIPIO

NODO FÍSICO

VEREDA

PARTICULARIDAD

SECTOR

INGRESAR SALIR

Formulario de Inspección

1. INSPECCIÓN RESPONSABLE

NOMBRE:  CARGO:  VINCULACIÓN:  FECHA:

2. REPORTE RESPONSABLE

NOMBRE:  CARGO:  VINCULACIÓN:  FECHA:

3. ESTADO

POSTERIA  B  R  U  C

TEMPLATES  B  M

HERRAJES  B  M

CRUCETERÍA  B  M

AISLAMIENTO  B  M

CONDUCTOR  B  M

SPT  B  M

CIMENTACIÓN  B  M

DESCRIPCIÓN

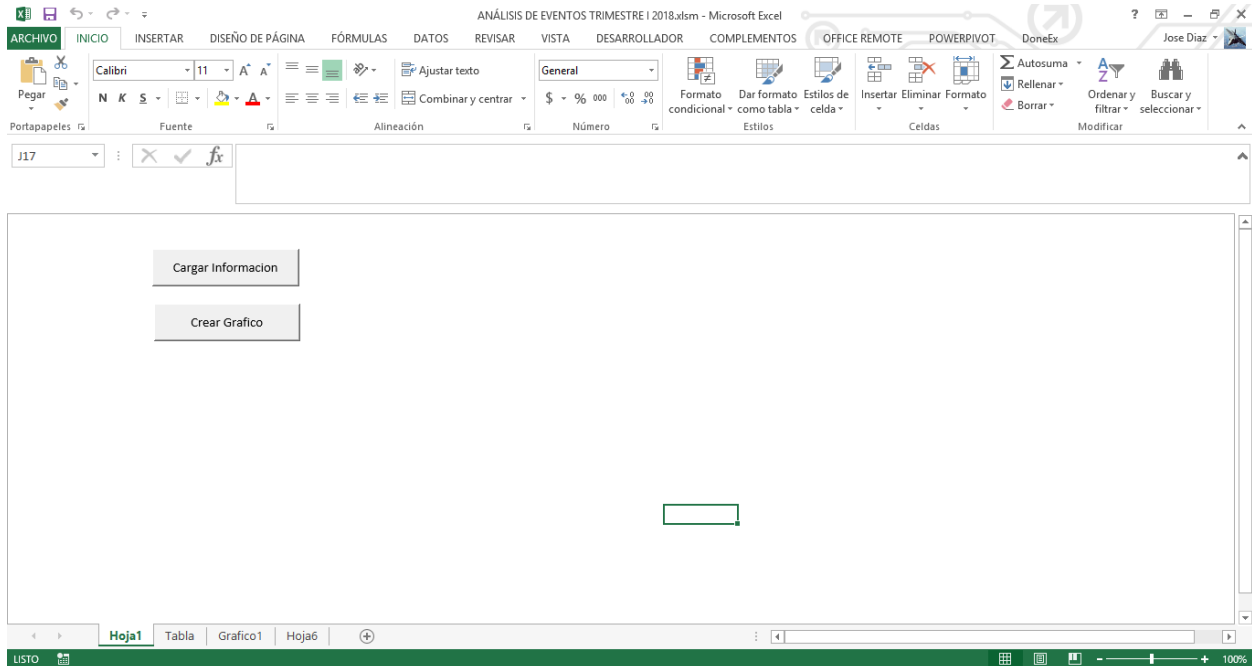
INGRESAR SALIR

Ilustración 53: Diferentes partes del programa de hoja de vida de líneas.



# DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

## Anexo F: Programa analizador de eventos



NUMERO	MUNICIPIO	CIRCUITO	FECHAINICIO	FECHAFIN	DURACION	CODIGO	NOMBRE	DIRECCION	POBLACION	OBSE
242654	ARAUQUITA	RL_PAN 34	01/01/2018 00:04:40	01/01/2018 00:05:31	0,85	RL_PAN 34	INTERRUPTOR DE LINEA	ARR.PANAMA		
242655	ARAUCA	RL_CAR 34	01/01/2018 00:05:52	01/01/2018 00:06:22	0,5	RL_CAR 34	INTERRUPTOR DE LINEA	RC-CAR		
242656	ARAUCA	ARO104	01/01/2018 00:37:04	01/01/2018 01:09:18	32,23	S2373	SECCIONADOR	B BOSQUE CLUB	U	LLam
242657	ARAUQUITA	AQ0201	01/01/2018 02:33:52	01/01/2018 02:38:22	4,5	AQ0201	ALIMENTADOR	PSQ_13	R	
242658	ARAUQUITA	AQ0401	01/01/2018 03:54:51	01/01/2018 03:55:43	0,87	AQ0401	ALIMENTADOR	ESM_13 S/E La Esmeralda.	R	
242660	ARAUQUITA	AQ0401	01/01/2018 05:51:03	01/01/2018 08:23:35	152,53	S0983	SECCIONADOR	S/E LA ESMERALDA	R	Alexi
242663	TAME	TA0104	01/01/2018 06:21:12	01/01/2018 07:38:17	77,08	S0421	SECCIONADOR	B. SAN ANTONIO (BETOY)	U	Ferné
242664	ARAUQUITA	AQ0201	01/01/2018 06:25:49	01/01/2018 14:00:24	454,58	S0134	SECCIONADOR	REINERA	R	José l
242666	FORTUL	FO0101	01/01/2018 06:38:16	01/01/2018 09:30:26	172,17	S0352	SECCIONADOR	B RAMIREZ	R	Cecili
242672	ARAUCA	ARO104	01/01/2018 07:22:14	01/01/2018 07:42:53	20,65	T0407	TRAF0	CL 16 N° 16 - 50 / BR. CRISTO REY / ARAUCA	U	Anivá
242673	ARAUQUITA	AQ0102	01/01/2018 07:24:49	01/01/2018 08:40:55	76,1	S0463	SECCIONADOR	VDA LAS BANCAS	R	Olga
242669	ARAUQUITA	AQ0301	01/01/2018 07:32:00	01/01/2018 07:55:16	23,27	S0192	SECCIONADOR	HOSPITAL SAN LORENZO / ARAUQUITA	R	Orlan
242675	SARAVENA	SA0102	01/01/2018 07:35:23	01/01/2018 09:18:33	103,17	S1230	SECCIONADOR	CR 16 34-30	U	Carol
242680	ARAUQUITA	AQ0102	01/01/2018 07:49:07	01/01/2018 08:21:22	32,25	S0462	SECCIONADOR	Vda Peralonso	R	Jenny
242684	TAME	TA0103	01/01/2018 08:02:53	01/01/2018 13:13:02	310,15	S0724	SECCIONADOR	CASERIO BOTALON	R	Diane
242693	TAME	TA0104	01/01/2018 08:25:29	01/01/2018 11:30:27	184,97	T3977	TRAF0	VDA. CHICANOVA / FCA EL MORICHAL / TAME	R	Abel
242697	ARAUQUITA	AQ0201	01/01/2018 08:37:21	02/01/2018 07:22:54	1365,55	S1097	SECCIONADOR	VD PTO NUEVO	R	Carm
242699	ARAUCA	ARO104	01/01/2018 08:41:36	01/01/2018 09:30:09	48,55	S0078	SECCIONADOR	VD CLARINETERO	R	Rosa
242700	ARAUQUITA	AQ0401	01/01/2018 09:19:27	02/01/2018 08:44:45	1405,3	S0377	SECCIONADOR	VDA AGUACHICA	R	Maur
242701	SARAVENA	SA0102	01/01/2018 09:27:51	01/01/2018 09:35:25	7,57	S1324	SECCIONADOR	VDA BAJO PESCADO	R	Enriq



## DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO

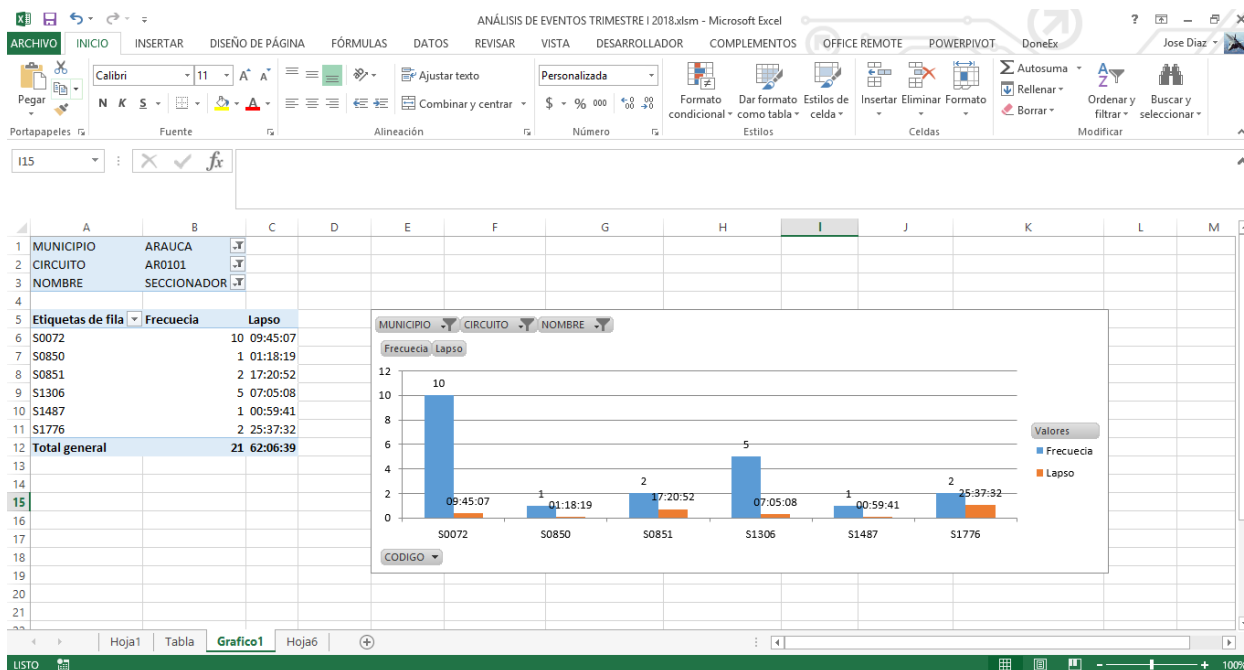


Ilustración 54: Etapas del programa "Analizador de eventos"



## Anexo G: Transformador de potencia ABB, de la subestación Arauca



*Ilustración 55: Transformador de potencia ABB de la subestación Arauca.*





**DISEÑO DE CONFIGURACIÓN PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL ALIMENTADOR 4 DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO DEL DEPARTAMENTO DE ARAUCA, ENELAR ESP, ENFOCADO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SERVICIO EN LA ZONA CENTRO**

## Anexo H: HMI del reconectador S0402 – San Carlos



*Ilustración 56: HMI de un reconectador.*



## Anexo I: Celda del relé Sepam 40 del Alimentador 4



Ilustración 57: Relé Sepam 40 del Alimentador 4. [18]