



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.



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

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.

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DQS is member of:



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK



*Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz*



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.

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.

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

AUTOR: LUIS ALFREDO MARTINEZ CUELLAR
DIRECTOR: M.Sc(c). ING: EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA
CODIRECTOR: (M.SC.) LUIS DAVID PAVÓN FERNÁNDEZ

FECHA DE INICIO DEL TRABAJO: AGOSTO 30 DEL 2017
FECHA DE TERMINACIÓN DEL TRABAJO: NOVIEMBRE 29 DEL 2017

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



*Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz*



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.

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.

NOMBRES Y FIRMAS DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTAR:

AUTOR: LUIS ALFREDO MARTINEZ CUELLAR

DIRECTOR: M.Sc(c). ING: EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA

DIRECTOR DE PROGRAMA: M.Sc(c). YESID SANTAFE RAMON

JURADO CALIFICADOR

JURADO 1: ING. PHOL PATIÑO ROJAS

JURADO 2: M.Sc(c). LIBARDO GAMBOA ARAQUE

DQS is member of:



*Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz*



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.

DEDICATORIA

Todo este trabajo y esfuerzo se lo dedico primeramente a Dios, porque es el que me tiene en este camino, el cual me encuentro recorriendo y me ha dado mucho más de lo que podría esperar. A mi madre Blanca Mirian Cuellar por su apoyo incondicional que nunca dejo de creer en mí, mis hermanas Karol yiseth Martínez, Angie Lorena Martínez y Karen quintero Cuellar que siempre estuvieron a mi lado y me han brindado amor incondicional, a Karen rojas por estar a mi lado en los momentos difíciles y formación de mi carrera.

A mis colegas y amigos los cuales trabajamos de la mano durante nuestro proceso de aprendizaje, en el cual aprendimos como ser mejores personas bajo la guía incondicional y dedicación a la enseñanza de los profesores con el fin de mejorar y contribuir en la sociedad.

Dedicarle este trabajo a la universidad de pamplona por permitirme realizar mis estudios de pregrado, facilitando todas las condiciones para poder desarrollarme como un profesional.





AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle al profesor Pablo Santafé el cual me dio la base para poder afrontar múltiples aspectos en la carrera a nivel personal y académico. Al profesor Édison Andrés Caicedo peñaranda por su asesoría en la realización de este trabajo por su incondicional colaboración, al profesor Phol Patiño rojas por ayudarme en el proceso de investigación y correcto desarrollo del presente trabajo.

DQS is member of:





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.

RESUMEN

Este trabajo describe el desarrollo de la coordinación de los seccionadores ubicados en los ramales principales y derivaciones laterales del tramo de red en media tensión que alimenta el sistema de distribución, con arranque en el seccionamiento S0463 de las veredas del distrito 8 del municipio de Arauquita en la empresa de energía ENELAR ESP. Realizando una caracterización del sistema para obtención de datos necesarios que permita la coordinación adecuada de los fusibles instalados en los cortacircuitos tipo L implementados por la empresa de energía. Será necesario ejecutar un flujo de carga por medio de una herramienta computacional SPARD DISTRIBUTION utilizada por Enelar Esp, en la cual se tiene parametrizado el sistema de distribución del departamento de Arauca facilitando la obtención de las corrientes y tensiones en los puntos donde se encuentran los seccionadores para escoger el fusible más adecuado.

El análisis de los fusibles instalados y sus respectivas pruebas en software ETAP POWER SOURCES aportaran datos que ayudaran a determinar las condiciones en las que se encuentra el sistema de distribución.

El análisis de cortocircuito proporcionara la información pertinente para la selección de fusibles en el software ETAP POWER SOURCES además del ajuste y simulación en condiciones de falla para realizar la prueba del funcionamiento de la coordinación, luego de la selección más opima, los datos necesarios para realizar el ajuste de los fusibles son las curvas características de tiempo corriente que será necesario ingresarlas en el software ETAP además de parametrizar los transformadores y la carga del sistema para simular de forma más real posible el sistema de distribución.

PALABRAS CLAVE: Coordinación de protecciones, análisis de cortocircuito, fusibles, flujos de carga, seccionadores.



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.

ABSTRACT

This work describes the development of the coordination of the disconnectors in the main branches and lateral branches of the red section in the tension media that feed the distribution system, with the sectioning in sector S0463 of the districts of district 8 of the municipality of Arauquita in the energy company ENELAR ESP. Performing a characterization of the system to obtain the necessary data to allow the proper coordination of the fuses installed in the L-type circuit breakers implemented by the energy company. It will be necessary to execute a load flow by means of a computational tool DISTRIBUTION OF SPARD Used by Enelar Esp, in which the distribution system of the department of Arauca has been parameterized facilitating the obtaining of the currents and tensions in the points where they are located. disconnectors to choose the most suitable fuse.

The analysis of the installed fuses and the respective tests in ETAP POWER SOURSES software will provide data that help to determine the conditions in which the distribution system is located.

The short circuit analysis provides the relevant information for the selection of fuses in the ETAP POWER SOURSES software as well as adjustment and simulation in fault conditions to perform the coordination function test, after the most appropriate selection, the necessary data to perform the adjustment of the fuses are the characteristics of the current time that is necessary, in addition to the ETAP software as well as parameterizing the transformers and the load of the system to simulate in a more real way the distribution system.

KEYWORDS: Coordination of protections, short circuit analysis, fuses, load flows, disconnectors.



**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.**

TABLA DE CONTENIDO

I.	GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	11
II.1	INTRODUCCIÓN	11
II.2	OBJETIVOS.....	11
1.1.1	<i>Objetivo general.</i>	11
1.1.2	<i>Objetivos específicos.</i>	11
II.3	ACOTACIONES.	11
II.	MARCO TEÓRICO.....	12
II.4	CONCEPTOS BÁSICOS.....	12
II.5	ESTUDIO DEL CORTOCIRCUITO.....	12
1.1.3	<i>Naturaleza de la corriente de cortocircuito</i>	13
1.1.4	<i>Tipos de cortocircuitos.</i>	13
1.1.4.1	Falla balanceada.	14
1.1.4.2	Falla desbalanceada.....	14
1.1.4.3	Métodos de solución.....	14
1.1.4.4	kVA's equivalentes del sistema de distribución.	15
II.6	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.....	15
1.1.5	<i>Fusibles</i>	15
1.1.5.1	Curvas tiempo-corriente (TCC).....	15
1.1.5.2	Relación de velocidad de los fusibles de enlace.	16
1.1.5.3	Tipos de fusibles.	19
1.1.5.4	Aspectos generales para la selección de fusibles de media tensión.	20
1.1.5.5	Comparación de fusibles de potencia con fusibles de distribución.....	23
1.1.6	<i>Fusibles de expulsión</i>	24
II.7	DISEÑO.	24
1.1.7	<i>Operación</i>	25
1.1.7.1	Valores nominales de fusibles de expulsión.....	27
1.1.7.2	Fusibles de alta descarga.....	28
1.1.8	<i>Fusibles limitadores de corriente</i>	29
1.1.8.1	Comparación fusible limitador de corriente frente al de expulsión y otros tipos no limitadores de corriente según IEEE.....	29
1.1.8.2	Tipos de fusibles limitadores de corriente.....	30
1.1.8.3	Fusible electrónico.....	31
1.1.8.4	Fusible en vacío.....	32
1.1.9	<i>Cortacircuitos fusible</i>	32
1.1.9.1	Características constructivas.....	33
1.1.9.2	Componentes del cortacircuitos fusible.....	34
1.1.9.3	Características eléctricas.....	35
1.1.10	<i>Factores de selección para elementos fusible y cortacircuitos</i>	36
1.1.10.1	Para selección de cortacircuitos.....	36
1.1.10.2	Aplicación de los eslabones fusible.....	39
1.1.10.3	Variables de operación de los fusibles.....	39
1.1.10.4	Reglas de aplicación (para coordinación).....	40
1.1.11	<i>Protección de transformadores de distribución con fusibles</i>	41
1.1.11.1	Factores a considerar.....	41





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.

1.1.11.2	Guía para la selección de fusibles de transformadores de distribución según NTC 2797.....	42
1.1.11.3	Condiciones generales.....	42
1.1.11.4	Selección de la capacidad de interrupción.....	42
1.1.11.5	Característica de soporte térmico, mecánico y de sobrecarga.....	42
1.1.11.6	Criterios de selección de fusibles.....	47
1.1.12	<i>Coordinación de dispositivos de protección en serie.....</i>	48
1.1.12.1	Principios de coordinación.....	48
1.1.12.2	Coordinación fusible de expulsión-fusible de expulsión.....	49
III.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	55
II.8	UBICACIÓN.....	55
II.9	ALIMENTADOR.....	55
II.10	ALCANCE DE LA COORDINACIÓN.....	56
II.11	IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	57
1.1.13	<i>Diagrama unifilar simplificado de red del distrito 8 municipio de Arauquita.....</i>	59
II.12	USUARIOS ALIMENTADOS POR LA LÍNEA AQ0102.....	60
II.13	ANÁLISIS DE LOS SECCIONADORES INVOLUCRADOS.....	60
1.1.14	<i>Seccionadores del ramal 1.....</i>	60
1.1.15	<i>Seccionadores del ramal 2.....</i>	62
II.14	CARACTERÍSTICAS DE LA LINEA.....	63
II.15	REPORTE DE FALLAS.....	64
II.16	REPORTE DE SALIDAS DE LOS SECCIONADORES.....	65
IV.	DESCRIPCIÓN DE FUSIBLES EXISTENTES Y NUEVOS PARA PRUBAS.....	67
II.17	CARACTERÍSTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO H INSTALADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENELAR ESP.....	67
II.18	CARACTERÍSTICAS DE LOS FUSIBLES TIPO K, T Y DUAL.....	69
1.1.16	<i>Fusibles tipo K.....</i>	69
1.1.17	<i>Fusibles tipo T.....</i>	71
1.1.18	<i>Fusibles tipo DUAL.....</i>	73
1.1.19	<i>Comportamiento de los fusibles tipo H, K, T Y DUAL.....</i>	74
V.	PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES.....	75
II.19	METODOLOGÍA PARA INGRESAR LA INFORMACIÓN DE LOS FUSIBLES.....	76
II.20	METODOLOGÍA PARA INGRESAR LA INFORMACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.....	77
II.21	SELECCIÓN Y SIMULACIÓN DE LOS FUSIBLES PARA LA PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES.....	81
1.1.20	<i>consideraciones previas.....</i>	81
1.1.21	<i>Selección valores nominales del cortacircuitos.....</i>	82
1.1.22	<i>Protección de transformadores monofásicos.....</i>	82
VI.	FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	94
II.22	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	94
II.23	DESCRIPCIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL SOFTWARE SPARD DISTRIBUTION.....	94
1.1.23	<i>Configuración topológica.....</i>	96
1.1.24	<i>Configuración de la subestación.....</i>	97
1.1.25	<i>Asignación de carga.....</i>	98



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.

1.1.26	Flujo de carga.....	101
VII.	SIMULACIÓN DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE CORTOCIRCUITO.....	103
II.24	DESCRIPCIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DEL SOFTWARE ETAP POWERING SUCCESS.....	103
1.1.27	Construcción del diagrama unifilar.....	104
1.1.27.1	Red de alimentación.....	104
1.1.27.2	Conexión de transformadores monofásicos.....	107
1.1.27.3	Conductor de media tensión.....	107
1.1.27.4	Asignación de carga para transformadores.....	109
1.1.27.5	Configuración para el análisis de cortocircuito.....	110
VIII.	SELECCIÓN Y AJUSTE DE FUSIBLES PARA EL DISTRITO 8 DE LA EMPRESA ENELAR ESP.....	114
II.25	CONDICIONES DEL SISTEMA.....	114
1.1.28	Consideraciones previas.....	114
1.1.29	Tipos de fallas.....	114
1.1.30	Análisis inicial.....	115
1.1.31	Análisis por medio del software ETAP.....	116
1.1.31.1	Estado del ramal 2.....	116
1.1.31.2	Condiciones del ramal 1.....	118
II.26	COORDINACIÓN Y EVALUACIÓN DE FUSIBLES A INSTALAR.....	119
1.1.32	Información necesaria para la selección de fusibles.....	119
1.1.33	Factores de corrección para fusibles de expulsión.....	120
1.1.34	Características eléctricas de los cortacircuitos.....	121
1.1.35	Consideraciones previas.....	122
1.1.36	Simulación y selección de fusibles existentes tipo H.....	122
1.1.37	Simulación y selección con fusibles tipo k.....	128
1.1.38	Simulación y selección con fusibles tipo T.....	131
IX.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE FUSIBLES.....	133
II.27	COORDINACIÓN ENTRE FUSIBLES ALEDAÑOS.....	134
X.	CONCLUSIONES.....	138
XI.	ANEXOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
XII.	LISTA DE TABLAS.....	140
XIII.	LISTA DE FIGURAS.....	142
XIV.	BIBLIOGRAFÍA.....	145



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.

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

II.1 INTRODUCCIÓN

II.2 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

Diseñar el sistema de protección para los seccionadores de los ramales en media tensión de la línea AQ0102 para las veredas del distrito 8 de la empresa de energía ENELAR ESP.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar el sistema de distribución de la línea AQ0102, seccionadores y fusibles de la red de alimentación en la zona rural.
- Simular el flujo de potencia en el software SPARD DISTRIBUTION del sistema de distribución de la línea AQ0102.
- Determinar las condiciones de cortocircuito proporcionado por el software ETAP POWERING SUCCESS en el cual se realizará el estudio de fallas.
- Diseñar la coordinación de los fusibles con ayuda de los datos técnicos del fabricante.
- Validar el funcionamiento mediante una simulación en el software ETAP POWERING SUCCESS.

II.3 Acotaciones.

- El proyecto será realizado aplicando fundamentos ingenieriles para la coordinación de los fusibles involucrados y el análisis pertinente para las simulaciones.
- El análisis de potencia será efectuado el software SPARD DISTRIBUTION, en el cual se encuentra el sistema de distribución de la empresa de energía ENELAR ESP.
- El análisis de corto circuito y ajuste de fusibles en el software ETAP POWERING SUCCESS.
- Dentro del alcance de este proyecto se plantea realizar la coordinación de los seccionadores de los circuitos ramales del distrito 8 para la línea AQ0102.



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.

II. MARCO TEÓRICO

II.4 Conceptos básicos.

Las fallas en los sistemas de distribución se clasifican, de acuerdo con su naturaleza, en temporales o permanentes. Una falla temporal se define como aquella que puede ser liberada antes de que ocurra algún daño serio al equipo o a las instalaciones. Un ejemplo de fallas temporales o transitorias son los arcos que se producen en los aisladores debido a sobretensiones por descargas atmosféricas, "galopeo" de los conductores (debido a fuertes vientos o sismos) o a contactos temporales de ramas de árbol con los conductores. Una falla que en un inicio puede ser de naturaleza temporal puede convertirse en permanente si no se despeja rápidamente. Una falla permanente es aquella que persiste a pesar de la rapidez con la que el circuito se desenergiza. Si dos o más conductores desnudos en un sistema aéreo de distribución se juntan debido a rotura de postes, crucetas o conductores, la falla será permanente. Un arco entre fases de un circuito con conductor aislado puede ser inicialmente temporal, pero si la falla no se despeja rápidamente los conductores pueden romperse y la falla se volvería permanente. [1]

Si un circuito de distribución fuera instalado sin el equipo de protección de sobrecorrientes, las fallas podrían causar una falta de suministro de energía a todos los consumidores servidos desde el alimentador. Esto trae como consecuencia una reducción en los niveles de confiabilidad (continuidad del servicio) que son inaceptables. Para incrementar el nivel de confiabilidad en el suministro de energía eléctrica existen dos opciones:

- Diseñar, construir y operar un sistema de tal forma que el número de fallas se minimice.
- Instalar equipo de protección contra sobrecorrientes de tal forma que reduzca el efecto de las fallas. Se deben analizar las dos alternativas.

para que el servicio al consumidor tenga un nivel de confiabilidad aceptable al más bajo costo. [1]

II.5 Estudio del cortocircuito.

Un corto circuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta el punto de falla.

Las corrientes de cortocircuito son alimentadas por elementos activos como: los generadores, motores, la compañía distribuidora de electricidad, etc., y se limitan o atenúan por elementos pasivos del sistema como: impedancias de conductores, transformadores, reactores. Los estudios de cortocircuito se deben de realizar al momento de diseñar el sistema eléctrico, y luego actualizarse cuando se realicen modificaciones importantes.

La elección de los dispositivos de protección, se hace en la mayoría de los casos únicamente desde el punto de vista de ampacidad, o sea, de la capacidad que tengan los mismos de manejar un cierto valor de corriente en condiciones normales de operación. Sin embargo, el cálculo y elección deben de hacerse considerando las corrientes de cortocircuito. En el caso de considerar solamente la corriente nominal de operación, al efectuarse una sobrecarga en el sistema, simplemente lo que

sucedirá es que la protección se fundirá o disparará según sea el caso. Pero, si se tuviese una condición de falla y la capacidad interruptiva se seleccionó sin ningún estudio de cortocircuito previo, simplemente las protecciones estallarían ya que no tienen el soporte necesario para absorber la energía esperada. [2]

El primer paso antes del estudio de cortocircuito es contar con un diagrama unifilar de la instalación que se va a analizar. Este diagrama debe de contar como mínimo de:

- Datos como: marca, modelo, tensión, ampacidades y capacidades interruptivas de los dispositivos de interrupción del sistema.
- Marca, calibre y longitud de los conductores del sistema.
- Marca, impedancia porcentual, tensión de operación y potencia de los transformadores instalados en el sistema.
- Datos de placas de motores.

1.1.3 Naturaleza de la corriente de cortocircuito.

La corriente de cortocircuito se conforma de una corriente alterna de frecuencia de servicio con amplitud variable en el tiempo, y de corriente continua superpuesta (componente unidireccional) que varía entre el 80 % del valor eficaz del componente alterno hasta que se atenúa a un valor de cero, dando lugar a una onda asimétrica.

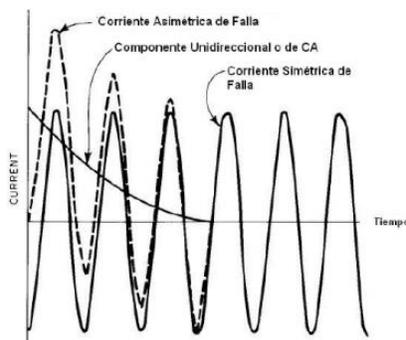


Figura 1. Desarrollo de la corriente de falla. [2]

1.1.4 Tipos de cortocircuitos.

En los sistemas eléctricos se distinguen dos tipos de fallas de cortocircuito, las balanceadas o tripolares, y las desbalanceadas, también llamadas bipolares o unipolares. Se dice que un cortocircuito es franco, cuando los procedimientos de cálculo se hacen en base a impedancia igual a cero en el punto de cortocircuito. [3]

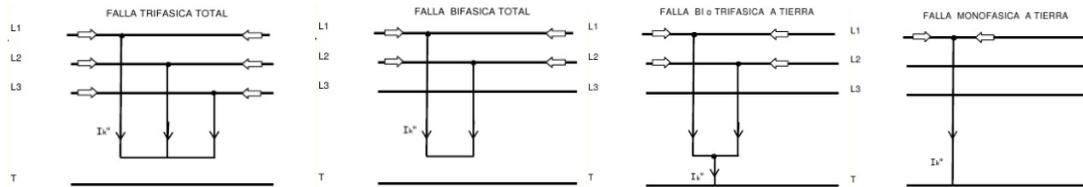


Figura 2. Tipos de cortocircuito. [2]

1.1.4.1 Falla balanceada.

La falla tripolar o trifásica, se da cuando las tres líneas del sistema son aterrizadas en un punto en el cual las tres tensiones de falla son nulas, y las tres fases tienen cargas simétricas, debido a las corrientes simétricas de cortocircuito, que están desfasadas 120 grados eléctricos, independientemente de si este punto está o no aterrizado.

Este tipo de falla se produce en un 5 % de los casos, y se le asocia por lo general, la capacidad de cortocircuito más alta en sistemas industriales. Sin embargo, en grandes sistemas, cuando el neutro está conectado a tierra, la corriente máxima de cortocircuito se manifiesta para una falla monofásica a tierra. [3]

1.1.4.2 Falla desbalanceada.

En este tipo de fallas las tensiones no son todas nulas, debido a la asimetría, se produce la unión de fases y neutro, en caso de que este exista. Pueden ser cortocircuitos bipolares o unipolares. Las fallas bipolares o bifásicos (contactos fase a fase) con o sin contacto a tierra, se presentan en el 15 % de los casos.

En cambio, las fallas unipolares o monofásicas, se presentan con un 80 % de regularidad, son cortocircuitos de línea a tierra. Aunque la falla de línea a tierra sea el tipo de falla más común en los sistemas, nos interesa saber el valor máximo de corriente de falla, por lo que los procedimientos de cálculo de cortocircuitos se hacen en base a impedancia igual a cero en el punto de cortocircuito. [3]

1.1.4.3 Métodos de solución.

Existen diferentes tipos de solución para el análisis de fallas (estudio de corto circuito), entre los cuales se destacan el método de las componentes simétricas que es un método exacto, pero que comúnmente se confunde con el método denominado por unidad. A continuación, se describe una lista de los métodos más conocidos.

- Método de las componentes simétricas (método exacto).
- Método porcentual (método por unidad).
- Método de MVA's (método de las potencias).
- Método de la matriz Zbus (método exacto).
- Método por software. [4]

1.1.4.4 kVA's equivalentes del sistema de distribución.

El valor de los kVA's que aporta la distribuidora, generalmente es dado por la compañía. La información puede estar dada en MVAcc o en kVAcc, pero si se nos suministra la corriente de cortocircuito I_{cc} , utilizaremos para convertirla a kVA's de falla. [3]

$$KVAcc = \sqrt{3} * I_{cc} * KV \quad (1)$$

II.6 Dispositivos de protección.

1.1.5 Fusibles.

Se puede decir que es uno de los dispositivos de protección más utilizado y confiable dentro del sistema de protección. Realizan diferentes funciones como:

- Sentir cualquier subida de corriente en el sistema protegido.
- Interrumpir sobrecorrientes.
- Soportar voltajes transitorios de recuperación para no permitir reignición (extinción controlada del arco).

Cuando por el fusible circula una sobrecorriente, el intervalo de tiempo desde que se detecta, hasta que empieza a fundirse se denomina “tiempo mínimo de fusión” y el intervalo de tiempo que termina en fundirse todo el fusible se denomina “tiempo máximo de despeje”. La principal limitación de un fusible es, siempre que es sometido a una corriente superior a su mínima corriente de fusión, se funde y queda sin servicio la parte del sistema más allá de éste, esta interrupción se da hasta que un técnico llegue y analice el tipo de falla y reponga dicho fusible. [5]

1.1.5.1 Curvas tiempo-corriente (TCC).

Son gráficas donde se presenta el comportamiento de un equipo en el tiempo ante diferentes magnitudes de corriente, sus dos ejes son logarítmicos. En el eje de las abscisas se ubica el tiempo en segundos y en el de las ordenadas se muestra la corriente en ampere, en algunas de las gráficas se observa un eje secundario con el tiempo en ciclos. [4]

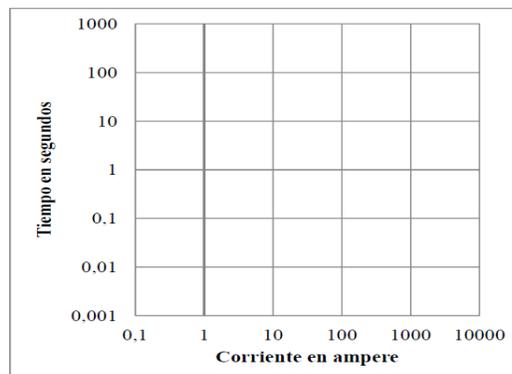


Figura 3. Gráfica de corriente de cortocircuito. [4]

1.1.5.2 Relación de velocidad de los fusibles de enlace.

La relación de velocidad se define como: “El valor de la corriente a 0,1 segundos entre el valor de la corriente a 300 segundos o 600 segundos, dependiendo de la relación de corrientes del fusible.” Esos valores de corriente se toman de la curva de tiempo mínimo de fusión. El fusible se considera más lento conforme aumenta el valor de la relación de velocidad, por ejemplo: una relación de 6 es de un fusible rápido, una relación de 13 es de un fusible lento. [6]

Las curvas deben contener información para 3 intervalos de tiempo a:

- 300 o 600 segundos de acuerdo a la corriente nominal que se tenga.
- A 0.1 segundos.
- A 10 segundos.

Los fusibles T y K del mismo valor nominal tienen diferentes puntos 300 segundos a 600 segundos, pero como lo muestra la figura 4 tiene diferentes curvas $t - i$.

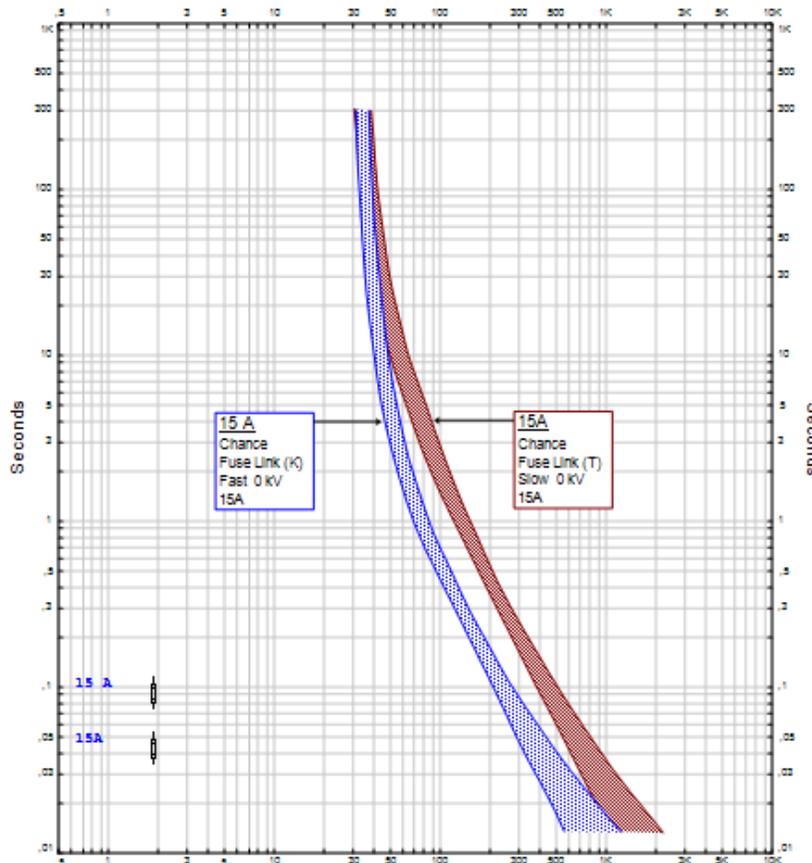


Figura 4. Curvas de fusibles 15K y 15T Chance Fuse link. [7]

A altas corrientes el fusible T es más lento que el fusible k del mismo tamaño.

Las normas EEI-NEMA han dividido a los fusibles de expulsión en dos tipos: rápidos y lentos, los cuales son designados por las letras K y T, respectivamente. La diferencia entre los dos tipos es la relación de velocidad, la cual es la relación entre la corriente de fusión a 0.1 segundos y 300 segundos para los eslabones nominales por debajo de 100 A. [1]

La diferencia entre los 2 fusibles la da la relación de velocidad así:

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{I \text{ de fusión a } 0.1 \text{ s}}{I \text{ de fusión a } 300 \text{ s}} \text{ para fusibles } < 100 \quad (2)$$

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{I \text{ de fusión a } 0.1 \text{ s}}{I \text{ de fusión a } 600 \text{ s}} \text{ para fusibles } > 100 \text{ A} \quad (3)$$

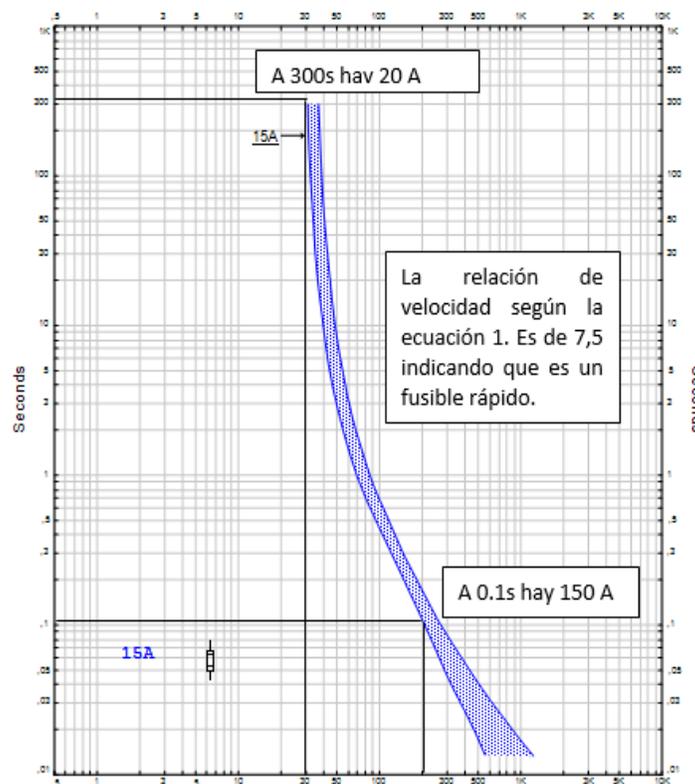


Figura 5. Relación de velocidad de fusibles. [7]

Existen diferentes subdivisiones de los tipos de fusibles según la norma ANSI C37.42. Mencionaremos una descripción de cada uno de ellos.

- Fusible tipo K: Conducen hasta 150% de su I_n sin daños (relación de velocidades 6 a 8).
- Fusibles Tipo T: Más lentos que los K (relación de velocidad 10 a 13).
- Fusible tipo Std: Intermedia entre los K y T; son permisivos a las fluctuaciones de corriente (relación de velocidad 7 a 11).

- Fusible Tipo H: Conducen hasta el 100% de su In sin daño; tienen característica de fusión muy rápida (relación de velocidad 4 a 7).
- Fusible Tipo N: Conducen hasta el 100% de su In sin daños. Son más rápidos aún que los H.
- Fusible Tipo X: Provistos de un elemento dual; son permisivos a las fluctuaciones de la corriente (relación de velocidad 32).
- Fusible Tipo Sft: Provisto de elemento dual; no actúan ante fallas temporarias en transformadores.
- Fusibles Tipo MS o KS: Respuesta ultra lenta y mayor permisividad de corriente que los T; bueno como protección de línea (relación de velocidad 20).
- Fusibles Tipo MN241 AYEE: Conducen hasta el 130% de su In sin daños; poseen un resorte extractor necesario en los seccionadores MN241 AYEE.
- Fusibles tipo DUAL: Son fusibles extra lentos, cuya relación de velocidad es de 13 y 20 (para 0.4 y 21 amperios, respectivamente). [5]

En la siguiente imagen se muestran diferentes tiras de fusibles los cuales conocemos comúnmente, existen tiras de fusibles de diferentes marcas entre las más comunes están Chance, ABB, Cooper etc. A continuación, se muestra en la figura 6 algunas tiras de fusibles según el tipo de amperaje.



Figura 6. Tiras de fusibles utilizados en media tensión fussand. [8]

Un fusible de Tipo K, se comporta de forma diferente de un fusible de tipo T o de cualquier tipo. Dentro de un mismo tipo de fusibles existe una subdivisión que los diferencia en valores de amperios utilizados para una correcta coordinación de protecciones por lo cual se recomienda utilizar fusibles del mismo tipo y subdivisión.

De manera que el fabricante garantiza que un fusible de 10 A se fundirá antes que uno de 15 A, uno de 20 A se fundirá antes que uno de 25 A, y así sucesivamente hasta llegar al fusible de mayor valor en amperios, si estos son del mismo tipo y sub división, lo que no garantiza el fabricante que un fusible de 8 A no preferido se funda antes que uno de 10 A preferido, o que uno de 10 A preferido se funda antes que uno de 12 no preferido. Cabe añadir que cada fusible tiene diferentes curvas según su valor de interrupción, la curva viene dada en amperios- segundos. En la siguiente figura mostraremos curvas de fusibles de diferentes valores en amperios. [5]

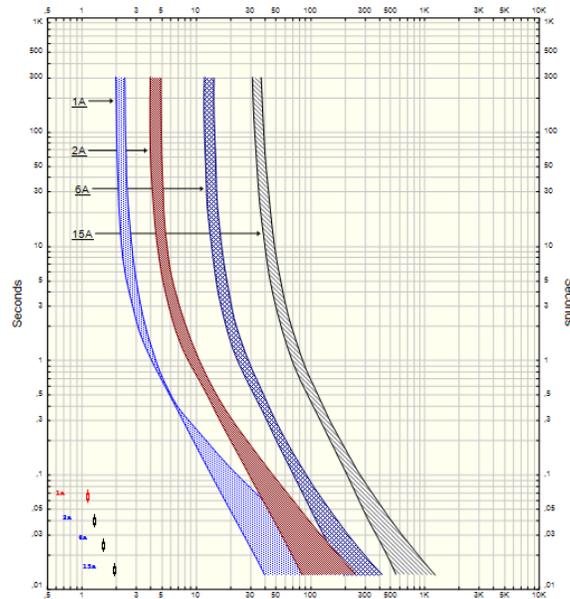


Figura 7. Curvas de fusibles de diferentes valores de corriente. [7]

Interrumpir y disponer de un ambiente dieléctrico para prevenir el restablecimiento del arco cuando la corriente pasa por cero. El siguiente es el proceso:

1. Detección: calentamiento y fusión.
2. Iniciación del arco: separación.
3. Manipulación del arco: alargamiento, refrigeración, desionización, presurización.
4. Interrupción de corriente: corriente cero.

Para que el fusible funcione apropiadamente, este debe:

1. Detectar las condiciones difíciles de proteger.
2. Interrumpir la falla rápidamente.
3. Coordinarse con otros dispositivos de protección para minimizar el número de usuarios afectados por la acción del fusible. [5]

1.1.5.3 Tipos de fusibles.

1.1.5.3.1 Fusibles de potencia.

Usados en subestaciones y equipos de suicheo encapsulados, tienen rangos de corriente más altos y las características nominales de interrupción y de corriente están a voltajes más altos. Existen los siguientes tipos básicos:

- De expulsión: ácido Bórico, tubo de fibra.
- Limitadores de corriente: arena.
- Sumergibles en líquido: tetracloruro de carbón.
- Fusible electrónico. [6]



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.

1.1.5.3.2 Fusibles de distribución.

Existen los siguientes tipos:

De expulsión: usado principalmente donde la expulsión de los gases no causa problemas como en los circuitos aéreos y equipos (no cubierto).

Existen las siguientes clases:

- En tubo de fibra (encerrado y de intemperie).
- Sin portafusible (listón a la intemperie).
- Limitadores de corriente: usados en interiores, para proteger transformadores Pad Mounted, equipos encerrados donde se requiere limitación de energía.

Ambos tipos son empleados en sistemas de distribución, diferenciándose principalmente en su capacidad interruptiva y tensión de aplicación.

Los fusibles inmersos en aceite tienen aplicación principalmente en instalaciones subterráneas, siendo necesario en ciertas ocasiones instalarlos en equipos sumergibles.

De la selección adecuada de un fusible, cualquiera que sea su tipo dependerá del éxito que se tenga en su aplicación. De manera general, para una correcta selección, es necesario conocer:

- Tensión del sistema.
- Nivel de aislamiento.
- Máxima corriente de cortocircuito en el lugar de instalación.
- Relación X / R.
- Máxima corriente de carga (incluyendo tasa de crecimiento).
- Tipo de sistema (aéreo o subterráneo) en delta o en estrella multiterminado.

Estos factores permitirán establecer la tensión, corriente de operación y capacidad interruptiva que deberá tener el fusible seleccionado. [1]

1.1.5.4 Aspectos generales para la selección de fusibles de media tensión.

1.1.5.4.1 Fusibles de distribución.

En fusibles de distribución, la selección depende de la filosofía de protección que se aplique al sistema, en general, los fusibles K (rápidos) desconectan al sistema de fallas en menos tiempo y coordinan mejor con los relevadores.

Los fusibles T (lentos) soportan corrientes transitorias mayores (corrientes de arranque de motores, etc) y coordinan mejor con otros fusibles de la misma clase o diferentes. Para escoger el tamaño mínimo del fusible se debe considerar no sólo la máxima carga normal del lugar de la instalación sino la corriente de arranque y carga fría.



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.

Las temperaturas ambiente extremas y precargas grandes afectan las curvas tiempo-corriente de los fusibles; por tanto, deben considerarse cuando la instalación del fusible trabaje bajo estas condiciones. [6]

1.1.5.4.2 Fusibles de potencia.

En lo que respecta a tensión, estos fusibles deben ser seleccionados con base en la máxima tensión entre fases que se puede presentar en el sistema en donde se apliquen, independientemente de la clase de puesta a tierra que tenga.

La capacidad interruptiva del fusible de potencia debe ser mayor siempre a la máxima disponible en el lugar de instalación. Estos fusibles están normalizados con base en una relación X / R mayor a 15 para capacidad de cortocircuito simétrico y $(1.6 \times I$ simétrica) para su capacidad de cortocircuito asimétrico. En cuanto a su capacidad de corriente de trabajo nominal, deberán tomarse en consideración todos los aspectos indicados para los fusibles tipo distribución. [9]

En la selección de fusibles de potencia tipo limitadores, además de las consideraciones anteriores se deberán tomar en cuenta también otras más tales como: tipo de conexión del transformador, efecto del arco de operación en los pararrayos, etc.

Para la correcta selección del tipo de fusible adecuado, cualquiera que sea su clase, será necesario siempre conocer sus curvas tiempo - corriente de operación. Existen tres tipos de curvas: las curvas características promedio de fusión tiempo-corriente, las curvas instantáneas de corriente pico y las curvas I^2t . El primer tipo se aplica para toda clase de fusibles y las dos últimas para fusibles limitadores de corriente. [9]

La escala del tiempo consta de cinco secciones: de 0.01 a 0.1, de 0.1 a 1.0, de 1.0 a 10 de 10 a 100 y de 100 a 1000 segundos. Las cinco secciones tienen idénticas subdivisiones y son de la misma longitud. La escala de la corriente en amperios consta de cuatro divisiones: de 1 a 10, de 10 a 100, de 100 a 1000 y de 1000 a 10000 amperios.

Los amperios en la escala de corriente son amperios simétricos. La escala del tiempo empieza en 0.01 segundos, valor poco menor que un ciclo (0.0167 segundos). Las curvas características de fusión no empiezan en un tiempo igual a cero debido a que cuando los fusibles operen en el rango entre cero y un ciclo una sola línea no llega a tener significado. Esta es el área donde las curvas de corriente pico y las I^2t proporcionan la información necesaria para una aplicación adecuada de fusibles. Si se observa la parte superior de la escala del tiempo, se nota que las curvas de fusión terminan en 300 segundos; sin embargo, algunas normas consideran hasta 600 ó 1000 segundos. [9]

Las curvas características tiempo - corriente de fusión son curvas promedio; esto se debe a que a pesar de que se usen los mismos elementos en la fabricación de los fusibles y las mezclas sean las mismos en cada proceso, es imposible fabricar dos fusibles exactamente iguales y cuyas características sean idénticas. [9]

Consecuentemente, dos fusibles de una capacidad de conducción igual y de misma clase no fundirán en el mismo tiempo cuando circule por ellos la misma corriente.

La corriente de fusión no debe variar más o menos del 10 % para un tiempo dado. Así, en vez de una sola línea que muestre la característica tiempo corriente de un fusible, es más conveniente hablar de una banda que se considera puede variar más o menos 10 % de la línea promedio.

En la figura 8 se muestra la curva promedio característica de un fusible de 5 amperios de media tensión en la que se han indicado los tiempos mínimos, promedio y máximo para diferentes valores de corriente. La línea punteada de la izquierda representa la mínima característica de fusión del fusible y la de la derecha representa la máxima característica de fusión. [9]

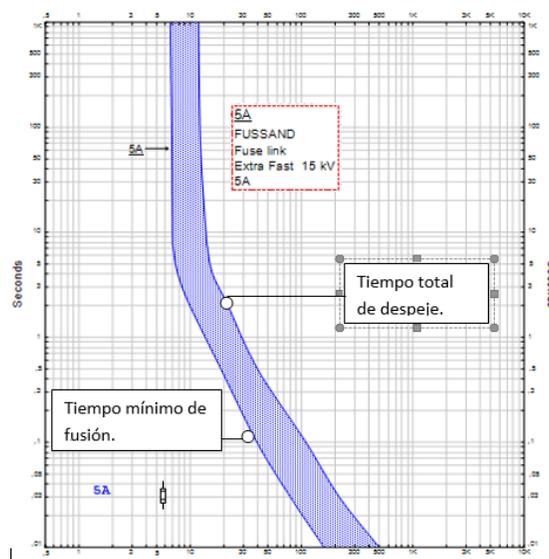


Figura 8. Curva característica de un fusible de media tensión. [7]

Las curvas tiempo - corriente se grafican con las siguientes bases:

- Los fusibles no han sido sometidos a sobrecarga, es decir, los fusibles no han conducido ninguna corriente antes de la prueba.
- La temperatura ambiente en que se hace la prueba es de 25 °C.
- La instalación del fusible es al aire, no en un interruptor u otro dispositivo.

La interrupción de un circuito por la operación de un fusible se lleva a cabo en dos partes:

1. La corriente que pasa por el elemento fusible debe calentar al elemento y cambiarlo al estado líquido.
2. En el instante en que el elemento fusible cambia al estado líquido el elemento se empieza a abrir y se establece un arco a través de los extremos del elemento en el punto donde este se interrumpió. Las otras partes se siguen fundiendo y el arco se alarga hasta que finalmente no puede continuar y se extingue, interrumpiéndose el circuito. [1]

El tiempo del arco se mide en ciclos y varía de 0.5 a 2 ciclos.

La curva total de tiempo de interrupción está compuesta por el tiempo de fusión y el tiempo de arco. El tiempo de fusión es muy grande en comparación con el tiempo de arco, de tal modo que dos



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.

ciclos de tiempo de arqueo en el área entre 1000 y 0.08 segundos aumenta solamente 0.03 segundos en el total del tiempo. Por lo regular el fabricante de fusibles proporciona dos juegos de curvas características tiempo – corriente para cada clase de fusibles: una es la familia de curvas de tiempo mínimo de fusión y la otra la familia de curvas de tiempo total de interrupción. En el área entre 0.08 y 0.01 segundos, la zona de mayor cortocircuito, lo más probable es que la línea de fusión máxima no sea igual al tiempo total de interrupción. En esta región de operación del fusible el tiempo de arqueo puede ser igual o mayor que el tiempo de fusión, lo cual depende de:

- El valor instantáneo de la onda de tensión en que ocurre el cortocircuito.
- El valor de la relación X / R .
- La rapidez de crecimiento de la corriente de cortocircuito durante el primer medio ciclo.

Cuando los fusibles operan en un rango comprendido entre cero y un ciclo, en las curvas características de tiempo - corriente, este rango está representado en una parte muy pequeña de la escala logarítmica. Para ayudar a representar la característica de los fusibles en esta región se emplean las curvas de corriente pico de entrada y las curvas de energía I^2t . El eje horizontal marca la corriente de cortocircuito simétrica y el eje vertical la corriente pico de entrada de cualquier fusible; ésta se puede encontrar seleccionando la curva del fusible en cuestión y leyendo el valor de la corriente de falla. [1]

El punto en que la curva intercepta la línea de la corriente simétrica pico es el punto de entrada, es decir, el punto donde el fusible empieza a operar como limitador de corriente. Estas curvas sirven para comparar las corrientes pico de entrada de los fusibles con la energía I^2t de daño de los equipos que protegen. Las curvas de energía I^2t de los fusibles permiten coordinar fusibles en tiempos menores de 0.01 segundos. Para esto se debe mantener el valor de energía I^2t del fusible dado arriba del valor I^2t del fusible de menor capacidad instalado dentro del circuito que se considere. De acuerdo con lo anterior, la coordinación con fusibles incluye una comparación de curvas de fusión mínima y de interrupción total para corrientes que funden al elemento en tiempos mayores de 0.01 segundos y una comparación de valores de energía I^2t para corrientes que funden al fusible en tiempos de 0.01 segundos. Las curvas de corriente pico de entrada sirven para verificar que la energía de entrada al equipo que se protege con un fusible no sobrepase a la energía I^2t del equipo protegido. [1]

1.1.5.5 Comparación de fusibles de potencia con fusibles de distribución.

Tanto limitador de corriente y fusibles de expulsión se clasifican según los estándares IEEE C37, ya sea de la clase de potencia o fusibles de clase de distribución. La diferenciación entre las dos clases refleja las diferentes condiciones del sistema que existen donde fusibles se aplican normalmente en un sistema de potencia en base a requisitos específicos para generar fuentes, subestaciones y líneas de distribución. Prueba de cada tipo de fusible y la clase debe seguir requerimientos particulares detalladas en IEEE Std C37.41 junto con los requisitos de especificaciones individuales que figuran en la norma IEEE C37.42, IEEE Std C37.43, IEEE Std C37.45, IEEE Std C37.46, C37.47 y IEEE Std. Tales especificaciones incluir, por ejemplo, sobretensiones máximas de pico para fusibles limitadores de corriente y prueba dieléctrica voltajes para soportes de fusibles. Una comparación de algunas de estas especificaciones se da en la Tabla 1. Fusibles de clase de potencia se prueban para TRVs y X / R valores de la relación más probable que se encuentren en o cerca de la generación de fuente o subestación y en circuitos trifásicos. fusibles de distribución tienen especificaciones más



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.

estrechamente emparejado con los requisitos del sistema de distribución, más lejos de la fuente o de la subestación en circuitos individuales o trifásicos. [10]

Requirement	IEEE Std C37.42 distribution class expulsion fuses	IEEE Std C37.46 power class expulsion and current-limiting fuses	IEEE Std C37.47 distribution class current-limiting fuses
Rated maximum voltage—kV	5.5 to 38	2.8 to 169	2.8 to 38
Rated continuous current—Amps to 200		to 700	to 200
Rated maximum interrupting current—kA Sym.	0.75 to 16	1.25 to 80	12.5 to 125
X/R ratio at rated maximum interrupting current	1.33 to 15	≥ 15	≥10

Tabla 1. Comparación de especificaciones IEEE fusibles. [10]

1.1.6 Fusibles de expulsión.

II.7 Diseño.

Este tipo de fusibles consta básicamente de los siguientes componentes: Un cilindro interior aislante de material ablativo, el cual puede ser fibra vulcanizada, papel aislante impregnado de resina fenólica, resinas termoplásticas o termo fijas con o sin material de relleno. El elemento sensible a la corriente (fusible) está constituido por un alambre o cinta, de sección transversal casi siempre constante y de longitud muy corta (entre 2 y 5 cm). El material de este elemento puede ser plata, cobre, aleaciones de plata o cobre, aleación níquel - cromo, plomo, estaño, o aleaciones de plomo-estaño. Además, tiene un botón cabezal y el conductor inferior. Cada una de sus partes se observa en la figura 9.

Los diseños más comunes son:

1. Una combinación de soldadura eutéctica y elemento de alta corriente para eslabones fusible de descarga ratados de 1 a 8 A.
2. Un elemento de hilo para fusibles de estaño ratados de 5 a 20 A y de fusibles de plata ratados de 5 a 100 A.
3. Un elemento fundido a troquel para fusibles de estaño ratados de 25 a 100A.
4. Un elemento de disparo para fusibles de estaño ratados sobre 100 A.

Los eslabones fusibles descritos por 2, 3, 4 tienen un hilo tensionado de alta resistencia que protege el elemento fusible contra rotura accidental.

La longitud y el diámetro del elemento fusible determinan la corriente y el tiempo necesario para fundir el elemento.

El elemento puede ser largo o corto.

- El elemento largo a bajas corrientes gradualmente desarrolla un punto caliente en el centro y rompe tan pronto se alcanza la temperatura de fundición.
- El elemento corto, a la misma corriente desarrolla un punto caliente que no alcanza la temperatura de fusión dejando el fusible calentado, pero no fundido.

A altas corrientes ningún elemento tiene tiempo de sacar el calor hacia fuera. [1]

1.1.7 Operación.

Una vez que ha operado el elemento sensible a la corriente la interrupción se logra no sólo por la reacción del tubo aislante de material ablativo y por la expulsión del cable de cobre estañado, sino también por la acción de caída del tubo portafusible, haciéndose visible la operación y la ubicación de la falla.

En algunos diseños de fusibles de baja corriente nominal se agrega un resorte interior de tensión o compresión que ayuda a separar más rápido al cable de cobre estañado del contacto interior fijo, sujetado de alguna forma al contacto superior.

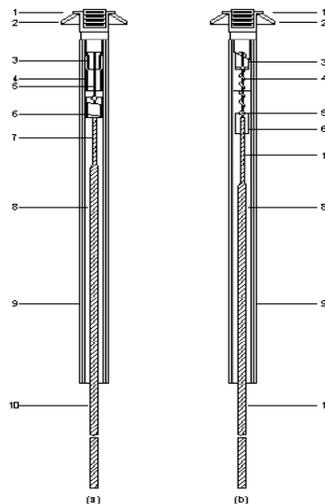


Figura 9. Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie a) para menos de 10 A y b) entre 10 A y 100 A. [6]

1. Cabezal del botón de contacto con rosca.
2. Arandela.
3. Terminal superior. 4. Elemento fusible.
4. Pantalla protectora contra corona. 6. Terminal inferior.
5. Hilo tensor (o muelle de tensión) 8. Cable interior.
6. Coraza protectora (también sirve como soporte al muelle de tensión).
7. Cable exterior.
8. Hilo forjado.

Inmediatamente después de que ocurre la fusión (o prearqueo) del elemento sensible a la corriente aparece el arco, cuya temperatura es superior a 12 000 K, que al estar en contacto con el material ablativo forma una capa envolvente de vapor a una temperatura del orden de los 3000 K. En este tipo de fusibles el arco es enfriado por convección, siendo el flujo refrigerante generado por la vaporización del material aislante por el arco. La extinción del arco se logra por la acción de dos agentes. [6]

- Enfriamiento por convección de los gases desionizantes que se generan a alta presión.
- La expulsión hacia el exterior del cable de cobre estañado, al cual estuvo conectado previamente el elemento sensible a la corriente.

Existen dos formas para la expulsión de los gases generados:

- La expulsión por un extremo de tubo portafusible.
- La expulsión de los gases por ambos extremos del tubo portafusible.

El cilindro de material aislante de una sola pieza puede soportar varias operaciones que dependen de la magnitud de la corriente que se pretende interrumpir, del material utilizado en su construcción y de la construcción del elemento sensible a la corriente. Dicho de otra manera, cuando ocurre una falla, el elemento fusible se funde y se establece un ARCO (trayectoria conductiva de partículas ionizadas como iones metálicos y gas ionizado). Dicho arco debe ser extinguido rápidamente a fin de prevenir daño al sistema y a los equipos. El fusible de expulsión típico usa elementos relativamente CORTOS para detectar sobrecorrientes y empezar la interrupción. [6]

Los elementos que producen gas desionizado son uno o varios de los siguientes: fibra, melamina, ácido bórico, aceite y tetracloruro de carbón. Estos gases se mezclan rápidamente con los gases ionizados y los desioniza, crean turbulencia de alta presión y cuando la corriente alcanza el CERO se recupera la fortaleza del dieléctrico y se extingue el arco, se presenta un transitorio de voltaje antes de recuperar el voltaje del sistema.

En la medida que la corriente de falla es mayor, la duración del periodo de arqueo será menor. Sin embargo, la interrupción siempre ocurrirá hasta que la corriente pase por su valor cero en uno o más semiciclos. En las figuras 8 y 9 se representa la de característica de operación de estos fusibles bajo la acción de corriente de falla de baja y alta magnitud a la tensión del sistema.

La figura 10 muestra las señales típicas de corriente, voltaje y tiempo que se presentan durante la interrupción normal del fusible de expulsión. Puede observarse que no hay limitación de corriente y al final del tiempo de interrupción el voltaje puede rápidamente restablecerse, pero antes se presenta un alto transitorio de recuperación de voltaje. [6]

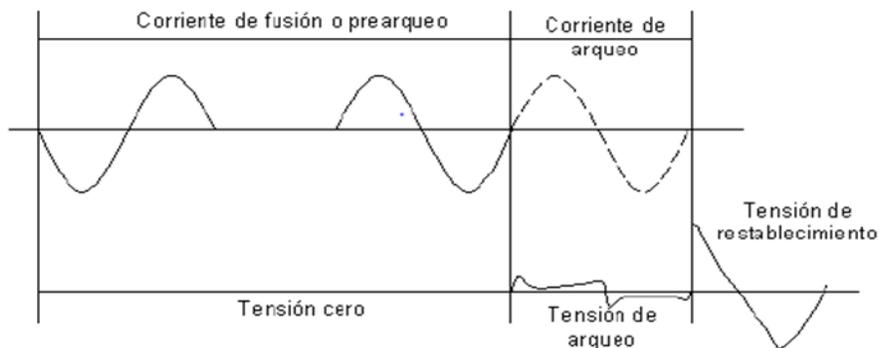


Figura 10. Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud. [1]

Una ventaja del fusible de expulsión es que una vez quemado el fusible, puede ser recargado con mucha facilidad.

Otra ventaja: el portafusible admite una amplia variedad de eslabones fusible y de posibilidades de coordinación.

Después que la corriente de arco se reduce a cero, para asegurar la interrupción definitiva de la corriente de falla, la rigidez dieléctrica del fusible debe ser mayor que la tensión de restablecimiento.

Hasta el instante de interrupción de la corriente de arco, la tensión en los bornes del fusible tiene un valor muy reducido, pero inmediatamente después la tensión de restablecimiento se incrementa para alcanzar o rebasar el valor cresta de la tensión del sistema. Sin embargo, debido a la presencia de la capacitancia C y de la inductancia L de la red, esa transición ocurre con una oscilación amortiguada por la resistencia R siempre presente. [1]

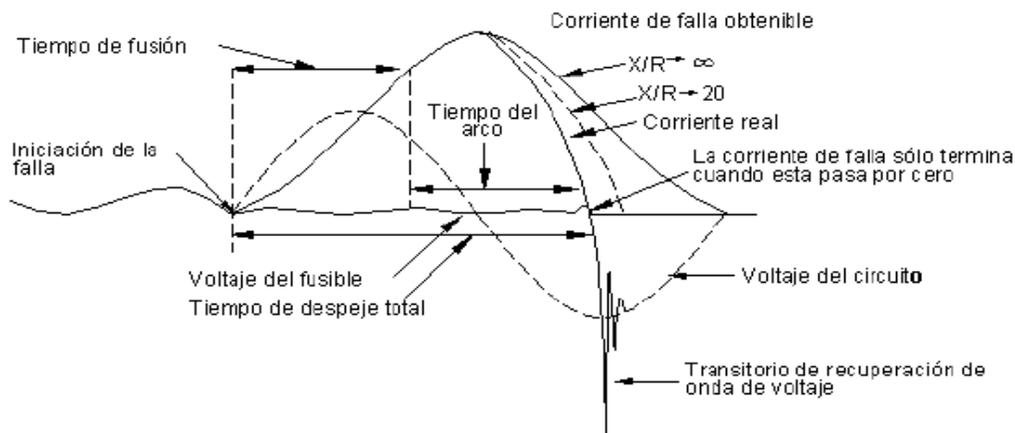


Figura 11. Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías. [1]

1.1.7.1 Valores nominales de fusibles de expulsión.

- Voltaje nominal del fusible V_{nf}

$V_{nf} \geq V_f - t$. sistema cuando se aplica sobre f-t en un sistema 3 ϕ

- Corriente de interrupción I_f

$I_f \geq$ corriente de falla máxima presente en el punto de ubicación del fusible.

- Corriente nominal continua

$I_f \geq$ corriente de carga máxima. [6]

Los fusibles pueden operar en la porción asimétrica de la corriente de falla basados en la relación X/R. Las corrientes de carga y de sobrecarga permitidas por el crecimiento de la carga y los transitorios de corriente tales como:

- Corriente Inrush de los transformadores.
- Corrientes de puesta en marcha en frío de motores.

Ambas deben ser considerados

Fueron establecidas Normas (EEI – NEMA) que especifican los valores nominales de corrientes y las características $t - i$ para prever la intercambiabilidad eléctrica de fusibles de todos los fabricantes de la misma característica nominal.

1ª Tamaños preferidos: 6 – 10 – 15 – 25 – 45 – 65 – 100 – 140 – 200 A.

2ª Tamaños no preferidos: 8 – 12 – 20 – 30 – 50 – 80 A.

3ª Por debajo de 6 Amperios: 1 – 2 – 3 – 5 A.

Si se mezclan fusibles adyacentes de categorías 1ª y 2ª se limita el rango de coordinación. [6]

1.1.7.2 Fusibles de alta descarga.

Los fusibles de alta descarga de 1 – 2 – 3 – 5 – 8 A para la protección de pequeños transformadores, son tipo H y sus curvas características se muestran en la figura 12. protegen contra sobrecarga y evitan operación durante descargas de corriente transitoria de corto tiempo asociadas con arranques de motores y descargas atmosféricas. [1]

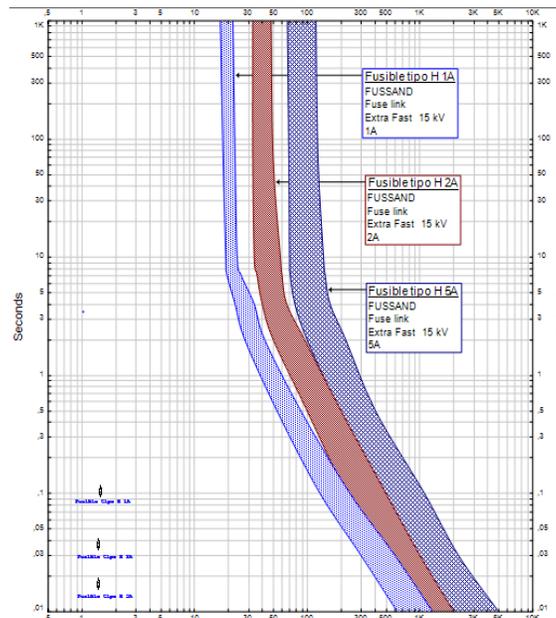


Figura 12. Curvas características fusibles tipo H. [7]



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.

1.1.8 Fusibles limitadores de corriente.

En las últimas décadas el incremento de los niveles de cortocircuito en los sistemas de distribución ha generado la necesidad de buscar elementos fusibles que los limiten a valores aceptables, desarrollándose para ello los fusibles limitadores de corriente. La aplicación actual es la protección de transformadores y bancos de capacitores donde se prevean niveles de cortocircuito altos.

Un fusible limitador se define como un dispositivo de protección limitador de corriente que cuando opera reduce el flujo de corriente en el circuito fallado a una magnitud considerablemente menor que la que se obtiene en el mismo circuito si el dispositivo se reemplaza con un conductor sólido de igual impedancia.

Desde el punto de vista constructivo, el fusible está formado por un elemento sensible a la corriente, un tubo contenedor, un núcleo o araña y arena de cuarzo. [1]

1.1.8.1 Comparación fusible limitador de corriente frente al de expulsión y otros tipos no limitadores de corriente según IEEE.

Todos los tipos de fusibles tienen las siguientes características, a saber:

- Pueden llevar corriente continua.
- Están diseñados para interrumpir sobrecargas anormales y aislar circuitos. Su fusión es interrumpen las características de tiempo pueden ser coordinados con los de otro circuito de sobrecorriente dispositivos de protección.
- Todos ellos interrumpen el circuito en una corriente cero modificada o normal, por tener una recuperación dieléctrico que es mayor que la TRV impuesta por el sistema de distribución de energía, lo que limita la duración de un fallo o sobrecarga de corriente.
- Todos ellos se disipan la energía del arco lanzado en el fusible para reducir la probabilidad de descomposición térmica después de corriente cero. Sin embargo, hay otras características que interrumpen que se dividen en tipos de fusibles separados. Las diferencias son vistos principalmente cuando la corriente es tal que la fusión del fusible se produce antes del primer pico principal de un fallo corriente. [10]

El fusible de expulsión y otros tipos de fusibles limitadores no permiten corrientes esencialmente el pico total de la corriente de fallo disponible para pasar hasta que la corriente se interrumpe en una corriente cero normal del circuito. La Figura 13A muestra una fusión expulsión fusible bajo estas condiciones. No hay resistencia de arco y significativa así que no hay tensión de arco significativa. Como resultado, la corriente que fluye es casi el mismo que si el fusible no tenía Derretido. En la primera corriente cero naturales, se extingue el arco (como en cada corriente cero). Si el dieléctrico fuerza de la brecha en el fusible, producido por la formación de arco, es suficiente para soportar la tensión de recuperación circuito (Incluyendo cualquier transitoria causada por la capacitancia del circuito paralelo) no se restablece la corriente (como se ve en Figura 13A). En la práctica, si bucles adicionales de flujo de corriente depende de factores tales como la corriente de defecto magnitud, el momento de iniciación de falla, y el tamaño y el diseño de fusibles. Dado que la corriente normal del circuito cero no es típicamente cerca de la tensión cero, se puede producir un alto TRV. Los ejemplos más comunes de fusibles que presentan este comportamiento son expulsión, el vacío, SF 6, ácido bórico, líquido, y algunos fusibles accionados electrónicamente. [10]

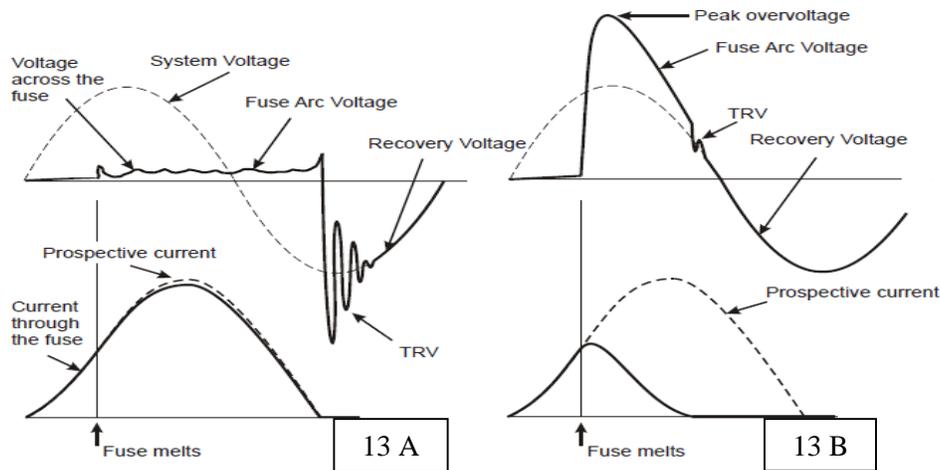


Figura 13. Fusible de expulsión y fusible limitador de corriente. [10]

Los fusibles limitadores de corriente, por el contrario, pueden limitar los fallos en magnitud y duración cuando se funden antes del primer pico importante de la corriente de defecto. Un limitador de corriente o “corriente cero forzando” fusible comienza la limitación del aumento de la corriente de falla tan pronto como se derrite sus elementos y por lo tanto evita que la corriente alcance su potencial valor pico. Los resultados de la acción de limitación de corriente de fusión de un elemento fusible bastante larga que interactúa con el medio de restricción y de enfriamiento (normalmente arena), que presente una resistencia equivalente aumentando rápidamente en el circuito de la avería. La figura 13 B muestra un limitador de corriente de fusibles que lleva una corriente de fallo que hace que se funda antes de que el primer pico. Tan pronto como la tensión del arco del fusible es igual a la tensión instantánea del sistema, la corriente pico ocurre. Después de esto la corriente cae y la tensión de arco fusible excede la tensión del sistema, porque el circuito tensión inductiva se opone a la corriente cae y se suma a la tensión del sistema. El fusible cambia un alto, El circuito de corriente de bajo factor de potencia de fallo en una corriente inferior, circuito de factor de potencia más alto. Como resultado, el actual se ve obligado a cerca de cero mucho antes de la corriente cero normal del circuito y cerca de la tensión cero. Esto se produce típicamente en menos de medio ciclo de la iniciación de fallo. Debido a que se mueve la corriente cero cerca del cero de la tensión, baja TRVs resultado. [10]

1.1.8.2 Tipos de fusibles limitadores de corriente.

1.1.8.2.1 De propósito general.

Es un fusible capaz de interrumpir satisfactoriamente todas las corrientes desde la corriente de interrupción máxima nominal hasta la corriente que causa la fusión del elemento fusible en una hora o menos ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cubre corrientes que están entre 150 y el 200% del valor nominal del fusible. [6]

1.1.8.2.2 Fusibles de respaldo.

Son fusibles capaces de interrumpir todas las corrientes desde la corriente de interrupción máxima nominal hasta la corriente de interrupción mínima nominal. [6]

El fusible de respaldo despeja solamente las corrientes de falla altas. El despeje de fallas bajas es realizado mediante los fusibles de expulsión conectados en serie con el FLC de respaldo.

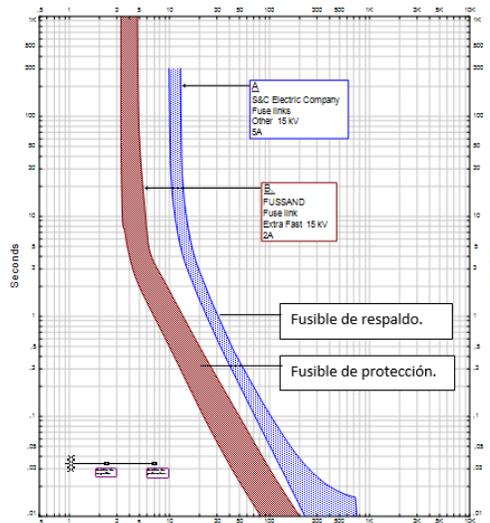


Figura 14. Curvas fusibles limitador como respaldo y expulsión como protección. [7]

Estos fusibles son capaces de interrumpir satisfactoriamente, bajo condiciones especificadas de uso y comportamiento, todas las corrientes que causan la fusión del elemento sensible a la corriente. Los tiempos máximos de fusión que se tienen para estos fusibles son hasta de ocho horas. Las características de limitación de corriente representan la relación entre la corriente disponible de falla en un circuito dado y el valor de la corriente de paso libre que un fusible permite fluir. [6]

Cuando un fusible limitador de corriente opera, siempre genera un voltaje de arco. Esta sobretensión depende tanto del tiempo o instante de iniciación de la falla sobre la onda de tensión del sistema como del tipo de diseño del fusible. Cuando se aplica un fusible limitador de corriente debe tomarse siempre en consideración esta sobretensión, pues existe el peligro de que se dañen los pararrayos con su operación. Dado el diseño especial que tienen los fusibles limitadores de corriente, la sobretensión que se genera con su operación depende principalmente de la tensión del sistema. [6]

1.1.8.3 Fusible electrónico.

El fusible electrónico en media -tensión se caracteriza por conducir corrientes nominales hasta de 600 amperios y capacidad interruptiva de 40 kA simétricos. Ofrece una variedad de curvas especiales I-t ajustables de tipo inverso, ideales para circuitos de potencia, de distribución, subestaciones, protección primaria de transformadores y alimentadores de plantas industriales. [1]

Los fusibles de este tipo son de operación más rápida que los interruptores de potencia para fallas de cortocircuito. En la actualidad se han diseñado en varios tipos de tensiones nominales, desde 4.16 kV hasta 25 kV, de servicio interior. La unidad está formada por un módulo de control y un módulo de interrupción, como se muestra en la figura 15. módulo de control está previsto de un transformador de corriente y circuitos electrónicos que censan la intensidad de corriente. El módulo de interrupción

opera en respuesta a una señal del módulo de control debido a una sobrecorriente y está formado por dos secciones dispuestas coaxialmente. [1]

La sección principal de circulación de corriente consiste de un tubo de cobre plateado, localizado en el centro que conduce la corriente en condiciones normales de operación. En paralelo con la sección principal se encuentra conectada la sección limitadora de corriente, formada por dos cintas de cobre sumergidas en arena sílica.

A diferencia de los fusibles limitadores de corriente, los elementos fusibles del módulo de interrupción no llevan corriente continuamente; por tanto, no se sujeta a la protección caprichosa que puede introducirse cuando los elementos fusibles de corriente tradicionales se exponen a cargas cíclicas o sobrecorrientes continuas que alteren la curva I-t. [1]

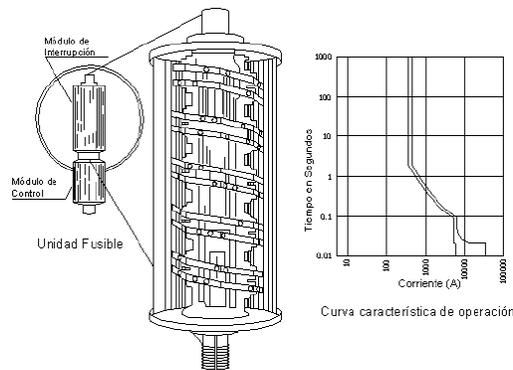


Figura 15. Fusible electrónico. [9]

1.1.8.4 Fusible en vacío.

El diseño y la operación de este fusible son muy parecidos al del fusible de expulsión, ya que también utiliza un elemento fusible de corta longitud y tiene una relación de las ondas de corriente y de tensión semejantes a las de un fusible limitador. La principal diferencia consiste en que está contenido en una unidad completamente sellada y no presenta expulsión de gases. La interrupción se presenta cuando la rigidez dieléctrica que existe entre los contactos llega a un valor relativamente alto después de que la onda de corriente alcanza su cero natural. El diseño del fusible es el del típico interruptor de vacío, en el que se aplica un movimiento rotatorio a los electrodos para cortar el arco e interrumpir satisfactoriamente altas corrientes de cortocircuito. La ventaja principal del fusible de vacío es que es un dispositivo de alta capacidad interruptiva que no expele gases durante su operación y se puede instalar en un gabinete muy compacto. [9]

1.1.9 Cortacircuitos fusible.

También son conocidos como cuchillas fusibles o cajas primarias y son de uso común en sistemas de distribución. Están diseñados para la protección de transformadores y otros equipos (incluyendo el seccionamiento de derivaciones de red) en circuitos de hasta 34.5 kV y 200 A continuos, cumpliendo con las Normas ANSI C37.41 1981 (Icontec 2132), ANSI C37.42 – 1981 (Icontec 2133). [1]

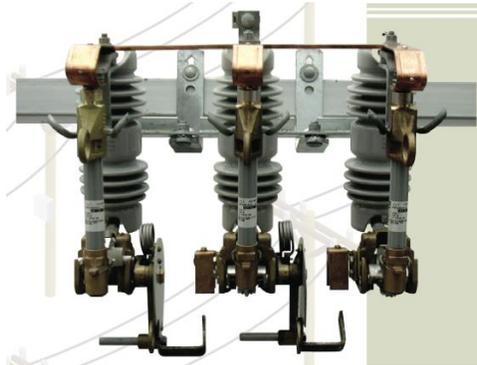


Figura 16. Cortacircuitos fusible de media tensión de tres disparos. [11]

1.1.9.1 Características constructivas.

La construcción del cortacircuitos debe ser fuerte y sólida, capaz de resistir tanto los esfuerzos dinámicos de una intensidad de falta elevada como las tensiones originadas en el momento del cierre, y estarán de acuerdo con la norma ANSI C 37.47.

La extinción del arco se producirá por la conjunción de dos defectos:

- Por efecto de los productos químicos que impregnan el interior del tubo protector.
- Por alargamiento del arco efectuado por la acción mecánica del cortacircuitos en el que se instala el fusible.

El tubo que contiene al elemento fusible estará compuesto por dos capas. La capa exterior estará compuesta de papel bakelizado y barnizado. La capa interior estará compuesta por papel absorbente impregnado de un compuesto químico especial que acelere la extinción del arco. [11]

Los terminales de contacto interiores estarán plateados para evitar la aportación de vapores metálicos que ionizarían el aire en el momento de la interrupción de la falta.

El cortacircuitos estará diseñado para ser abierto en carga utilizando una pértiga especial conectada en paralelo con el tubo portafusible en el momento de realizar la maniobra. El accionamiento de este accesorio deberá ser fácil y cómodo desde todos los ángulos independientemente del tipo de montaje en que esté el cortacircuitos. [11]

La base del cortacircuitos estará diseñada para conseguir su conversión rápida y cómoda en un seccionador convencional sin más que sustituir el tubo portafusible por una cuchilla seccionadora de aleación de cobre.

El diseño de la cuchilla seccionadora deberá permitir el acoplamiento del dispositivo de apertura en carga en las condiciones descritas. En caso de que la cuchilla seccionadora esté constituida por un barrón macizo o hueco de diámetro similar al tubo porta fusibles se pintará de color rojo a fin de que ambos elementos de función distinta, se diferencien perfectamente desde el suelo. [11]

El cortacircuitos estará diseñado para ser cerrado en carga y contra cortocircuito.

El diseño del cortacircuitos fusible de expulsión debe evitar que el portafusible, o la cuchilla seccionadora, según el caso, se desvíe a la derecha o izquierda en el momento del cierre, guiándolo perfectamente con independencia de la posición del operario que realice la maniobra. El portafusible o la cuchilla seccionadora quedarán firmemente asentados en la posición de cierre evitando malos contactos o aperturas intempestivas. [11]

El diseño del cortacircuitos fusible debe garantizar el abatimiento completo del portafusible una vez extinguido el cortocircuito, con impedancia del valor de la intensidad de falta.

Las palas de conexión del cortacircuitos estarán estañadas o tratadas con un sistema equivalente y serán planas, permitiendo la conexión del terminal bimetálico correspondiente por ambos lados.

Los materiales féreos oxidables estarán protegidos contra la corrosión mediante un galvanizado en caliente.

El circuito principal será de cobre, excepto aquellas piezas que se obtengan por moldeo que serán de una aleación que tenga un 62% de cobre como mínimo, y estará protegido contra la corrosión de forma que, en caso de oxidación, no se reduzca la conductividad de los contactos.

Las superficies de conexión entre la base y el portafusible estarán plateadas. [11]

1.1.9.2 Componentes del cortacircuitos fusible.

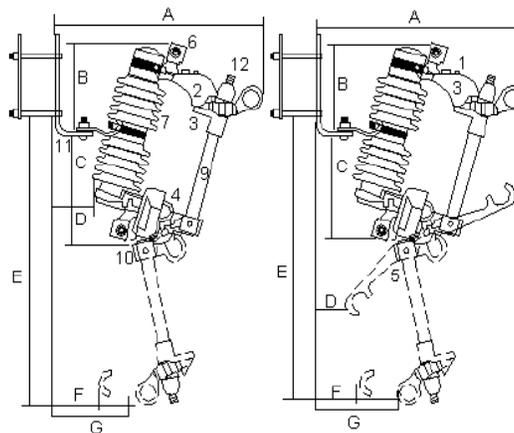


Figura 17. El cortacircuitos fusible y sus componentes. [6]

A continuación, se identifican y describen los componentes del cortacircuitos fusible mostrado en la figura 17.

1. Coraza: Guía los contactos durante la operación de cerrado garantizando un ajuste perfecto. Cuando el cortocircuito está cerrado la coraza provee de aseguramiento por enganche positivo de modo que el aparato no se abra debido a vientos fuertes o vibraciones del poste.
2. Contactos (Plata-Plata): Los contactos se fabrican en aleación especial de cobre al berilio (material de propiedades eléctricas y mecánicas ideales para contactos eléctricos) con baño

- de plata. Los contactos son auto limpiantes y están provistos de topes que evitan daños por operaciones bruscas. [6]
3. Anillo de operación: Estos componentes diseñados para trabajo pesado dan completo control al operario para la remoción y colocación de la cañuela cuando se necesite cambiar el fusible.
 4. Anillo de remoción de la vela: igual que el anterior.
 5. Articulación: La alta resistencia de esta estructura permite cerrar el cortacircuitos con fuerza, desde posiciones diferentes a la frontal.
 6. Terminal tipo tornillo de ojo (Fundición de bronce, galvanizado en caliente): Adaptables para cualquier calibre estándar de cable de Aluminio o Cobre, desde No 6 sólido hasta 4/0 A.C.S.R. [6]
 7. Aislador: En porcelana sólida, con herrajes de sujeción embutidos para mayor fortaleza estructural.
 8. Sistema de eyección: Compuesto por un trinquete resortado en acero inoxidable el cual evita que al cerrar el cortacircuitos el fusible se someta a esfuerzos excesivos, también ayuda a la separación rápida del fusible en el momento de una falla. Adicionalmente el Portafusible tiene otro resorte de acero inoxidable que facilita la operación de apertura y garantiza que no se quedará pegado en caso de una corriente de falla.
 9. Tubo Portafusible: En fibra de vidrio reforzada con resinas epóxicas (o resinas fenólicas para bajas capacidades de interrupción), en el momento de una falla libera gases a alta presión que contribuyen a la extinción de arco.
 10. Tope de fin de carrera: Limita el recorrido de la cañuela al abrirse el cortacircuitos.
 11. Herraje de montaje tipo NEMA.
 12. Tapón renovable: Durante fallas de baja intensidad el tapón permanece en su sitio causando una gran turbulencia en los gases liberados de modo que actúen más eficientemente en la extinción del arco. Durante fallas de alta intensidad, la alta presión alcanzarla por los gases hace que el disco del tapón sea expulsado permitiendo la expulsión de gases por ambos lados de la vela, el doble venteo hace mínimo el esfuerzo (causado por la reacción a chorro de los gases liberados) sobre el cortacircuitos y sus estructuras de soporte. Los taponos de repuesto son suministrados por la fábrica a un costo mínimo.
 13. Ganchos para apertura bajo carga con Load-Break -tool (Herramienta para apertura con carga). [6]

Clase de tensión kV	Dimensiones en pulgadas						
	A	B	C	D	E	F	G
7.8	17 5/8	5 1/2	10 5/8	3 1/2	23 5/8	5 1/2	6 7/8
15.0	18	6 7/8	12 1/4	3 1/8	26 1/2	5 3/8	7
27.0	19 1/4	9 1/2	14 1/8	2 1/8	34	2 3/4	5 3/4
	Para operación con carga						
7.8	18 1/4	5 1/2	10 5/8	2 5/8	23 5/8	5 1/2	6 7/8
15.0	18	6 7/8	12 1/4	2 1/4	26 1/2	5 3/8	7
27.0	19 1/4	9 1/2	14 1/8	1 3/4	34	2 3/4	5 3/4

Tabla 2. Dimensiones generales de cuchilla - fusible. Tipo estándar. [1]

1.1.9.3 Características eléctricas.

Las piezas presentarán unas características de diseño y fabricación que eviten la emisión de efluvios y perturbaciones radioeléctricas para niveles de tensión nominal de líneas.



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.

Las características eléctricas que deben satisfacer los cortacircuitos, son las contempladas en la norma ANSI C37.42 y se especifican en la siguiente tabla.

TENSIÓN ENTRE FASES (kV)	13,2	24,9	34,5
Tensión máxima asignada (kV)	15	27	36
Intensidad continua asignada (A)	200	200	200
Frecuencia (Hz)	60		
Intensidad de corte simétrica instantánea (kA)	10	10	12
Línea de fuga (metal-metal) (mm)	≥ 210	≥ 320	≥ 660
Nivel básico de aislamiento (kV)	95	125	150
Nivel de aislamiento frente a tensión de frecuencia industrial en seco, 1 min	35	42	70

Tabla 3. Características eléctricas cortacircuitos fusibles. [11]

1.1.10 Factores de selección para elementos fusible y cortacircuitos.

1.1.10.1 Para selección de cortacircuitos.

Los valores nominales para cortacircuitos de distribución son listados en las tablas 3 y 4.

Los datos requeridos para facilitar la selección de los cortacircuitos de un sistema de distribución son:

- La seguridad.
- La economía.
- La localización
- Uso preferente.
- Voltaje del sistema.
- Tipo de sistema.
- Relación X/R.
- Corriente de falla máxima presentada.
- Corriente de carga.
- Régimen continuo de corriente.
- Capacidad de interrupción. [6]

1.1.10.1.1 Selección de la corriente nominal.

I nominal continua \geq Corriente de carga continua máxima.

En la determinación de la corriente de carga del circuito se deben considerar la corriente de sobrecarga del circuito, la corriente de sobrecarga normal incluyéndose los armónicos sostenidos.



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.

Corriente de régimen continuo Amperios	Tipo estándar			
	Clase de tensión KV	Tensión aplicada KV	Capacidad interruptiva en Amperios	
			Asimétrica	Simétrica
100	7.8	7.8	5.000	3.550
	15	15.0	4.000	2.800
	Servicio pesado			
	7.8	7.8	10.000	7.100
		15.0	8.000	5.600
	15	7.8	10.000	7.100
	27	27.0	6.000	4.000
		15.0	8.000	5.600
	Servicio super pesado			
	7.8	7.8	20.000	14.500
		15.0	16.000	11.500
	15	7.8	20.000	14.500
	27	27.0	12.000	8.000
		15.0	16.000	11.500
	200	Tipo estándar		
7.8		7.8	5.000	3.550
15.0		15.0	4.000	2.800
Servicio super pesado				
7.8		7.8	20.000	14.500
		15.0	16.000	11.500
15		7.8	20.000	14.500
27		27.0	12.000	8.000
		15.0	16.000	11.500

Tabla 4. Capacidad de corriente de interrupción para cortacircuitos fusible. [6]

1.1.10.1.2 Selección de voltajes nominales (fusibles de expulsión).

El voltaje nominal es determinado por las siguientes características:

1. Voltaje $f - t$ o $f - f$ máximo del sistema.
2. Sistema de puesta a tierra.
3. Circuitos 1f o 3f.

Voltaje de restauración < Voltaje máximo nominal del cortacircuitos.

Voltaje Nominal kV *	Amperios continuos	Capacidad interruptiva (Amp.-Asym)	BIL (kV) +	Distancia mínima de fuga a tierra (mm)
Portafusible en resina fenólica (Tapón renovable)				
8.3/15 Grd. Y	100	10.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	200	12.000	95	254
15/26 Grd. Y	100	8.000	110	343
15/26 Grd. Y	200	10.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	100	6.000	125	457
27/34.5 Grd. Y	200	6.000	125	457
Portafusible en resina epóxica reforzada con fibra de vidrio (Tapón renovable)				
8.3/15 Grd. Y	100	20.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	100	16.000	95	254
8.3/15 Grd. Y	200	16.000	95	254
15/26 Grd. Y	100	16.000	110	343
15/26 Grd. Y	200	16.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	100	12.000	125	457
27/34.5 Grd. Y	200	12.000	125	457
Cuchilla sólida de bronce				
8.3/15 Grd. Y	300	20.000	95	254
15/26 Grd. Y	300	20.000	110	343
27/34.5 Grd. Y	300	20.000	125	457

* **Sistemas monofásicos:** Para usarse en sistemas con un voltaje máximo línea-línea (o línea-tierra) que no sobrepase los valores a la izquierda de la diagonal, excepto los cortacircuitos para 8.3/15 kV, los cuales pueden usarse para tensiones hasta de 15 kV línea-línea (o línea-tierra).
 * **Sistemas estrella con neutro a tierra:** Para ser utilizados en un sistema estrella multineterrizado con un voltaje máximo línea-línea que no sobrepase los valores a la derecha de la línea diagonal.
 * **Sistema en estrella o delta no neterrizados:** Los máximos voltajes línea-línea aplicables son iguales a los estipulados en sistemas monofásicos.
 + Mínimo exigido por normas ANSI pueden ser mayor para algunas marcas.

Tabla 5. BIL y distancias de fuga de los cortacircuitos fusible [6]



Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz



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.

1.1.10.1.3 Reglas de selección.

1. En sistemas subterráneos: $V_{\text{régimen máximo}} \geq V_{f-f \text{ máximo del sistema}}$
2. En sistemas 3f efectivamente puestos a tierra:
 - a) Para cargas 1f de derivaciones de líneas: $V_{\text{de régimen máximo fusible}} \geq \text{Voltaje } f-t \text{ del sistema.}$
 - b) Para aplicaciones 3f:

Las reglas dictan el uso de voltajes nominales $f-f$. Sin embargo, las fallas que producen condiciones donde cortacircuitos 1f puedan interrumpir voltajes $f-f$ son raras en estos sistemas. Existe entonces la tendencia a emplear cortacircuitos que tienen voltajes nominales duales como 7.8 / 13.5 kV y 15 / 26 kV. [1]

La tabla 5 lista los voltajes nominales recomendados para varios sistemas.

Selección de voltajes nominales (FLC):

$V_{\text{nominal máximo}} \geq V_{\text{máximo } f-f \text{ del sistema para } 3 f}$

$V_{\text{nominal máximo}} \geq V_{\text{máximo } f-t \text{ del sistema para } 1 f}$

Selección de los valores nominales de interrupción:

$I_{\text{interrupción nominal simétrico fusible}} \geq I_{\text{de falla máxima posible calculada sobre el lado de carga del fusible. [1]}$

Voltaje nominal del sistema	Voltaje nominal de cortacircuitos cuando es usado	
	Línea a Tierra	En la línea
2400 Delta		5200
2400/4160 Y Aterrizado	5200	5200
2400/4160 Y No aterrizado		5200
4800 Delta		5200
7200 Delta		7800
4800/8320 Y Aterrizado	5200	5200
4800/8320 Y No aterrizado	5200	7800/13500
12000 Delta		15000
7200/12470 Y Aterrizado	7800	7800/13500
7200/12470 Y No aterrizado		7800/13500
13200 Delta		15000
7620/13200 Y Aterrizado	7800	7800/13500
7620/13200 Y No aterrizado		7800/13500
13800 Delta		15000
7960/13800 Y Aterrizado	7800	7800/13500
7960/13800 Y No aterrizado		7800/13500
14400 Delta		15000
14400/24900 Y Aterrizado	27000	15000/26000
19900/34500 Y Aterrizado	27000	38000

Tabla 6. Recomendaciones para la correcta aplicación de cortacircuitos en los diferentes voltajes de sistemas de distribución. [1]





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.

1.1.10.2 Aplicación de los eslabones fusible.

1.1.10.2.1 Para fusibles en líneas con propósito de seccionamiento.

Se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Corrientes nominales y de sobrecarga del circuito incluyendo armónicos prolongados.
2. Corrientes transitorias del circuito:
 - corriente de magnetización de transformadores.
 - corriente de arranque de motores.
 - corriente Inrush de capacitores.
 - corriente de puesta en marcha en frío.
3. Características de Burn-down de los conductores (quema).
4. Coordinación con otros dispositivos de protección. [6]

1.1.10.2.2 Para protección de equipos.

Se deben considerar los siguientes factores:

1. Capacidad de sobrecarga de corto tiempo de los equipos.
2. Corrientes transitorias.
3. Importancia relativa de protección del equipo versus aprovisionamiento del servicio continuado.
4. Coordinación con otras protecciones. [1]

1.1.10.3 Variables de operación de los fusibles.

1.1.10.3.1 Precarga.

A causa de corrientes de carga previas, la precarga incrementa la temperatura del fusible causando que el tiempo de fusión sea reducido para todos los valores de la corriente de falla.

1.1.10.3.2 Temperatura ambiente.

Cuando aumenta por encima de 25°C el tiempo de fusión decrece y cuando la temperatura ambiente disminuye, el tiempo de fusión aumenta.

1.1.10.3.3 Calor de fusión.

Calor adicional requerido para convertir un sólido a su temperatura de fusión en un líquido a la misma temperatura. [9]

1.1.10.4 Reglas de aplicación (para coordinación).

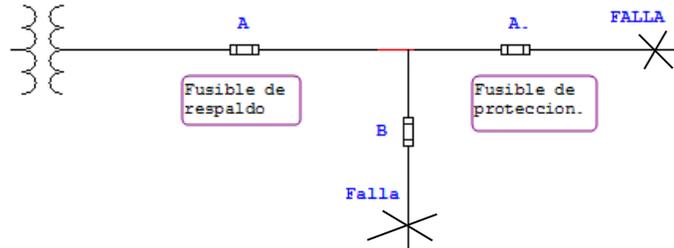


Figura 18. Localización de los fusibles de protección y protegido. [6]

La figura 18 proporciona la definición convencional de dispositivos de protección basados en la localización.

- Una regla esencial para aplicación de fusibles establece que el tiempo de despeje máximo del fusible de protección no excederá el 75% del tiempo de fusión mínimo del fusible protegido, lo que asegura que el fusible de protección despejará la falla antes de que el fusible protegido se dañe. El factor del 75% compensa los efectos de las variables de operación.
- Otra regla sostiene que la corriente de carga en el punto de aplicación no debe exceder la capacidad de corriente continua del fusible. La capacidad continua de corriente es aproximadamente 150% del valor nominal para fusibles T y K con elementos fusibles de estaño y aproximadamente 100% para fusibles H y N y fusibles K de plata. La tabla 2. lista las corrientes de régimen continuo que los fusibles H, N, T y K transportarán sin sobrecalentarse cuando son instalados en cortacircuitos de tamaño apropiado.

Fusible de alta descarga	Corriente continua (A)	Nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T nominal	Corriente continua (A)	EEI-NEMA K o T nominal	Corriente continua (A)
1 H	1	25	25	6	9	40	60*
2 H	2	30	30	8	12	50	75*
3 H	3	40	40	10	15	65	95
5 H	5	50	50	12	18	80	120+
8 H	8	60	60	15	23	100	150+
		75	75	20	30	140	190
N Nominal		85	85	25	38	200	200
5	5	100	100	30	45		
8	8	125	125				
10	10	150	150				
15	15	200	200				
20	20						

* Solo cuando es usado en cortacircuitos de 100 o 200 Amperios.
 + Solo cuando es usado en cortacircuitos de 200 Amperios.
 Limitado por corriente de régimen continuo del cortacircuito.

Tabla 7. Capacidad continua de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño. [6]



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.

1.1.11 Protección de transformadores de distribución con fusibles.

La principal función en la protección de transformadores es la desconexión de estos del sistema de distribución, reduciendo daños y disturbios al mínimo. Los tipos de protección pueden abarcar los siguientes aspectos:

- Protección contra sobrecarga, requerida debido a la elevación de temperatura causada por las sobrecorrientes de gran duración que pueden deteriorar el aislamiento de los devanados.
- Protección contra cortocircuito para prevenir efectos electrodinámicos y térmicos causados por cortocircuitos externos al transformador.
- Protección contra fallas internas, para minimizar el daño dentro del transformador fallado y aislado del resto del sistema. [1]

1.1.11.1 Factores a considerar.

Idealmente los fusibles deben:

- Remover el transformador fallado del sistema de distribución.
- Prevenir fallas disruptivas en el transformador.
- Proteger el transformador de sobrecargas severas.
- Resistir sobrecargas de corto tiempo no dañinas.
- Resistir corrientes de puesta en marcha de cargas en frío.
- Resistir corrientes Inrush.
- Resistirse a daño por sobretensiones inducidas.
- Coordinarse con el próximo dispositivo de protección aguas arriba. [6]

1.1.11.1.1 Corriente de energización o puesta en servicio (Inrush).

Al energizar un transformador se presenta la corriente de excitación o Inrush cuyas magnitudes y duraciones son determinadas por el flujo residual del núcleo del transformador y por el punto de la onda de voltaje que coincida al cerrar el circuito (cuando ocurre la energización). Esto sucede al energizar el transformador y cuando por alguna razón se abate momentáneamente la tensión en el lado de la fuente. [1]

1.1.11.1.2 Corrientes de puesta en marcha en frío.

El fusible debe resistir las corrientes de reenergización del transformador después de una salida. El valor de estas corrientes y su duración dependen del tipo de sistema y de las cargas conectadas al transformador. Esta corriente alta es causada por la pérdida de diversidad (que se produce al energizar súbitamente el transformador con cierto tipo de carga y que había experimentado previamente una interrupción larga) y por las corrientes de arranque de motores. [6]



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.

1.1.11.2 Guía para la selección de fusibles de transformadores de distribución según NTC 2797.

1.1.11.3 Condiciones generales.

Los principales parámetros que determinan los valores nominales de un fusible para un punto específico del sistema son:

- Corriente de carga.
- Tensión del sistema.
- Relación X/R y máxima corriente de falla posible en el punto de aplicación. [12]

1.1.11.3.1 Selección de la corriente nominal.

La corriente nominal del fusible debe ser mayor o igual a la máxima corriente de carga continua que éste requiere para conducir. En la determinación de la corriente de carga del circuito se debe tener en cuenta la posible corriente de sobrecarga y corrientes transitorias como son la corriente de conexión del transformador (corriente de Inrush) y de arranque de motores. [12]

1.1.11.3.2 3.2 Selección de la tensión nominal.

La tensión apropiada del fusible se determina a partir de las siguientes características del sistema:

- Tensión máxima del sistema fase-fase o fase-tierra.
- Sistema de puesta a tierra.
- Si el circuito es monofásico o trifásico.

Estas características determinan la tensión de recuperación a 60 Hz vista por el cortocircuito cuando interrumpe corrientes de falla. Generalmente, esta tensión debe ser menor o igual a la tensión nominal máxima del cortocircuito. Con base en lo anterior se presentan las siguientes reglas de selección:

- En sistemas no puestos a tierra, la máxima tensión nominal debe ser mayor o igual a la máxima tensión fase-fase del sistema.
- En sistemas trifásicos sólidamente puestos a tierra:
- Para cargas monofásicas en líneas en derivación, la tensión nominal máxima del fusible debe ser mayor o igual al máximo valor fase-tierra del sistema.
- Para aplicaciones trifásicas, la tensión nominal se debe basar en la tensión fase-fase del sistema. [12]

1.1.11.4 Selección de la capacidad de interrupción.

El valor nominal de la capacidad de interrupción simétrica de un fusible debe ser mayor o igual a la máxima corriente de falla calculada sobre el lado de carga del fusible. [12]

1.1.11.5 Característica de soporte térmico, mecánico y de sobrecarga.

Los transformadores deben estar diseñados y construidos para soportar esfuerzos de tipo mecánico y térmico resultantes de fallas externas. En general, el aumento de temperatura de este tipo de fallas es



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.

aceptable; sin embargo, los efectos mecánicos son intolerables cuando las fallas externas tienen un carácter repetitivo, debido al efecto acumulativo de los fenómenos de compresión, fatiga y desplazamiento internos en el material del aislamiento. El daño resultante ocasionado por estos fenómenos es una función de la magnitud, duración y frecuencia de las fallas. [12]

CORRIENTE DE SOBRECARGA	
TIEMPO	NOMINAL X
3600s	2.02
7200s	1.74
14400s	1.5
28800s	1.33
86400s	1.16

Tabla 8. Capacidad de sobrecarga. [12]

Cada categoría de transformadores (1) posee una característica de soporte térmico y mecánico definida por los siguientes tres segmentos:

- A. Capacidad de soporte mecánico en caso de cortocircuito (segmento 1 - 2 de la Figura 20)
- B. Línea de transición (segmento 2 - 3 de la Figura 20)
- C. Capacidad de soporte térmico en caso de cortocircuito (segmento 3 - 4 de la Figura 20).

Categoría	Monofásicos (kVA)	Trifásicos (kVA)
I	5 a 500	15 a 500
II	501 a 1 667	501 a 5 000
III	1 668 a 10 000	5 001 a 30 000
IV	más de 10 000	más de 30 000

Tabla 9. Asignación de niveles para transformadores monofásicos y trifásicos según su potencia. [12]

La característica de capacidad térmica limita la temperatura de los devanados del transformador, bajo el supuesto que todo el calor almacenado está limitado a 200 °C para el aluminio y 250 °C para conductor de cobre en condiciones de cortocircuito. Esta condición satisface la ecuación, descrita a continuación, asumiendo que la temperatura máxima ambiente es de 30 °C promedio y la temperatura máxima de servicio llega a 110 °C antes del cortocircuito. [12]

$$I^2t = 1250 \quad (4)$$

Donde:

I = corriente simétrica de cortocircuito en valor por unidad.

t = duración en segundos.

La característica de capacidad térmica típica para transformadores categoría I está dada por los siguientes puntos:



111,8	In	a	0,1 s
25,0	In	a	2 s
11,3	In	a	10 s
6,3	In	a	30 s
4,75	In	a	60 s
3,0	In	a	300 s
2,0	In	a	1 800 s

Tabla 10. Capacidad térmica. [12]

Para los transformadores de las categorías II, III y IV, la característica de capacidad térmica sufre algunos desplazamientos dependiendo de la magnitud de la corriente, la impedancia del transformador y el tipo de conexión.

Con el fin de cubrir todo el intervalo posible de sobrecorriente, a continuación de la de soporte mecánico y térmico de cortocircuito se debe incluir la característica de soporte de sobrecarga (segmento 4 - 5 de la Figura 20), especificada en la NTC 2482. [12]

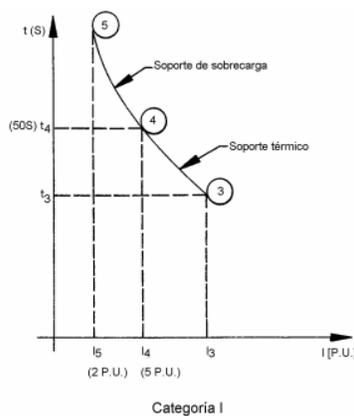


Figura 19. Características de soporte mecánico, térmico y de sobrecarga. [12]

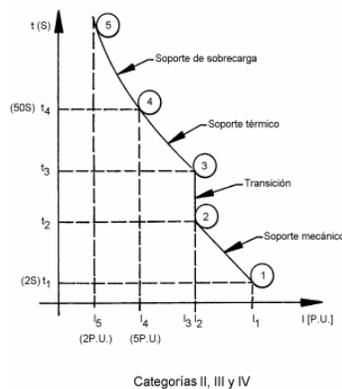


Figura 20. Características de soporte mecánico, térmico y de sobrecarga. [12]

La selección del fusible se efectúa superponiendo a la curva característica de corriente-tiempo de fusión mínima del fusible, la curva de capacidad térmica, mecánica y de sobrecarga del transformador, seleccionando aquel fusible cuya curva de máximo tiempo de fusión quede totalmente al lado izquierdo de la curva de capacidad térmica (véase la Figura 21 y la Figura 22).

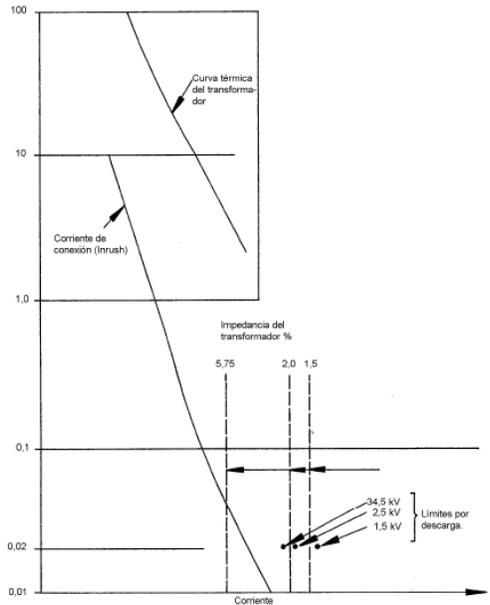


Figura 21. Curva térmica de un transformador y curva de corriente de conexión (corriente de Inrush). [12]

Notas:

1. En la categoría I sólo se tiene en cuenta la característica de soporte térmico.
2. Estas características se deben usar para efectos de especificación y coordinación de las protecciones del transformador.

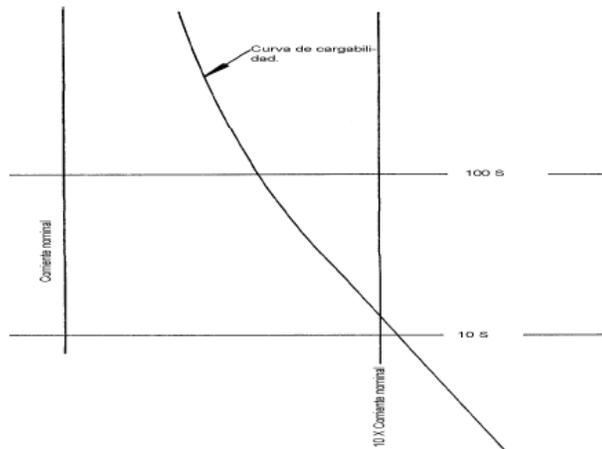


Figura 22. Curva de cargabilidad de un transformador. [12]



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.

Notas:

1. La curva de cargabilidad está basada en la norma ANSI C57.12.90, "Guide for Loading Oil Immersed. Distribution and Power Transformers".
2. El punto de daño por descargas atmosféricas (intersección de la tensión nominal del primario en la línea de referencia de 0,02 s) se basa en la fórmula semiempírica de Zaborszky (Semi-Empirical Formula for Calculating Distribution Transformer Fuse Rating With Respect to Lighthing Surges by John Zaborszky, AIEE Paper No. 54-303, 1954). [12]

1.1.11.5.1 Protección contra corriente de cortocircuito.

El tiempo de operación del fusible para la interrupción de la corriente simétrica de cortocircuito del transformador, calculada según su impedancia, debe ser inferior al tiempo establecido para que el transformador soporte el cortocircuito según lo descrito en la NTC 532. [12]

1.1.11.5.2 Capacidad para soportar corriente de conexión del transformador (corriente de Inrush)

Cuando un transformador se energiza, existe una corriente de excitación cuya magnitud viene definida por el flujo residual en el núcleo del transformador y el punto de conexión en la curva de tensión. Se ha establecido una curva definida por los siguientes puntos: [12]

25	In a	0,01 s
12	In a	0,1 s
6	In a	1,0 s
3	In a	10,0 s

Tabla 11. Capacidad para soportar corriente Inrush. [12]

La curva característica de corriente-tiempo de fusión mínima del fusible debe estar localizada en todo su intervalo, al lado derecho de la curva de corriente de conexión del transformador.

Se debe asegurar que la curva característica corriente-tiempo del fusible no corte la curva de conexión del transformador en la región por debajo de 0,1 s (véase la Figura 24 y la Figura 25). [12]

1.1.11.5.3 Indicaciones complementarias.

A manera de información se presentan las siguientes indicaciones complementarias.

1. Desplazamiento de la característica de soporte térmico y mecánico (curve shift). La magnitud de las corrientes de cortocircuito, reflejadas en el lado primario del transformador, cuando se presente una falla en el secundario depende del tipo de falla y del tipo de conexión del transformador. [13]
2. Criterios de selección del fusible. Debido a que las curvas dejan vacíos en los criterios de selección del fusible, generalmente, cada usuario establece una práctica o filosofía para realizar esta selección. Cuando se tiene una relación alta de fusión, los fusibles se escogen con el fin de proteger el sistema de un transformador dañado, para que la protección del



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.

transformador por sobrecarga presente muy poco esfuerzo. Cuando se tiene una relación de fusión baja, los fusibles son escogidos tan pequeños, como sea posible, de tal forma que suministren la máxima protección contra sobrecarga, pero sacrificando la capacidad térmica y mecánica del transformador para sobrecorrientes de corta duración. [14]

3. Ventajas y desventajas de la selección de un fusible de alta o baja relación. Cuando se determina el uso de un fusible con relación de fusión alta o baja, existen ventajas y desventajas que deben ser consideradas dentro de la filosofía de esta protección (véase la Tabla 12). [15]

	Relación de fusión	
	Alta	Baja
- Número de fusibles quemados por descargas.	Ventaja	Desventaja
- Inventario y sobrecostos de fusibles.	Ventaja	Desventaja
- Coordinación entre fusibles de transformadores y seccionadores.	Ventaja	Desventaja
- Número de transformadores en falla por sobrecarga.	Desventaja	Ventaja
- Habilidad para carga en el arranque en frío.	Desventaja	Ventaja
- Continuidad en el servicio.	Desventaja	Ventaja
- Coordinación entre fusibles de línea y de protección de transformadores.	Desventaja	Ventaja

Tabla 12. Comparación de las ventajas y desventajas del uso de fusibles con relación de fusión alta y baja. [12]

La importancia relativa de diferentes tipos de factores (por ejemplo: continuidad del servicio y costos de mantenimiento, entre otros) dentro de la operación particular de un sistema de distribución determina la selección del fusible. Entre los factores que dependen del conocimiento del sistema están, la curva de carga de los transformadores y el conocimiento del nivel cerámico, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, el fusible ideal es aquél del cual se obtiene el máximo beneficio con mínimo sacrificio del sistema.

En general, los fusibles que presentan una relación de fusión baja protegen al transformador contra sobrecarga, pero se funden muy fácilmente con corrientes de conexión o sobrecorrientes de corta duración; los fusibles con relación de fusión alta soportan descargas y protegen adecuadamente contra corriente de cortocircuito, pero no protegen al transformador contra sobrecarga. Los fusibles tipo dual, que presentan una relación de fusión alta para sobrecorrientes de corta duración y una relación de fusión baja para la zona de sobrecorrientes de larga duración, protegen al transformador no solamente contra las corrientes de sobrecarga sino también contra cortocircuito, debido a que su curva característica de corriente-tiempo de fusión mínima se adapta mejor a la curva característica del transformador de soporte térmico, mecánico y de sobrecarga. [12]

1.1.11.6 Criterios de selección de fusibles.

1.1.11.6.1 Corriente de energización o puesta en servicio (Inrush).

Al energizar un transformador se presenta la corriente de excitación o Inrush cuyas magnitudes y duraciones son determinadas por el flujo residual del núcleo del transformador y por el punto de la

onda de voltaje que coincida al cerrar el circuito (cuando ocurre la energización). Esto sucede al energizar el transformador y cuando por alguna razón se abate momentáneamente la tensión en el lado de la fuente. [6]

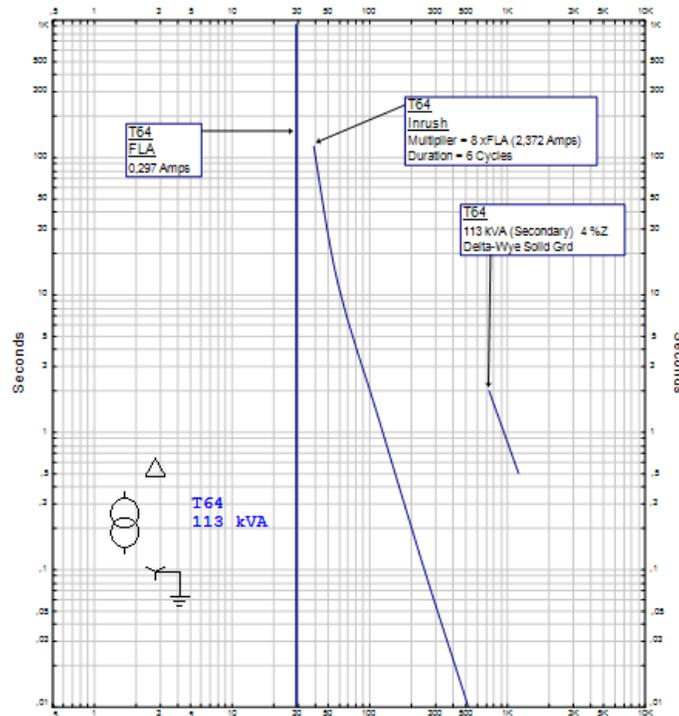


Figura 23. Curva de conexión un transformador de 112,5 KVA. [7]

1.1.12 Coordinación de dispositivos de protección en serie.

1.1.12.1 Principios de coordinación.

En los sistemas de distribución actuales, la coordinación de los dispositivos de protección debe hacerse en serie; también se le conoce como "cascada", debido a la que la mayoría de estos operan en forma radial. Cuando dos o más dispositivos de protección son aplicados en un sistema, el dispositivo más cercano a la falla del lado de alimentación es el dispositivo protector, y el siguiente más cercano del lado de la alimentación es el dispositivo "respaldo" o protegido.

El requerimiento indispensable para una adecuada coordinación consiste en que el dispositivo protector debe operar y despejar la sobrecorriente antes que el dispositivo de respaldo se funda (fusible) u opere al bloqueo (restaurador). Un ejemplo simple coordinación se muestra en la figura 24. [6]

Cuando hay una falla en el punto 1, el fusible H es el dispositivo protector y el dispositivo C el de respaldo. Con respecto al dispositivo A, el dispositivo C es el dispositivo protector y debe interrumpir corrientes de falla permanente en el punto 2 antes que el dispositivo A opere a bloqueo. El dispositivo B es también un dispositivo protector para dispositivo A y opera en forma similar al dispositivo C

para una falla en el punto 3. El dispositivo A opera a bloqueo solamente con fallas permanentes antes que los dispositivos B y C, como en el punto 4. Para una falla en el punto 6, el dispositivo E debe operar antes que el dispositivo D, previniendo con esto que el transformador salga de servicio, y con él el suministro de energía a las otras cargas en el secundario transformador; igualmente, para una falla en el punto 5 el fusible D es el protector. [6]

Los cortes de energía causados por fallas permanentes se deben restringir a secciones pequeñas del sistema por tiempo más corto.

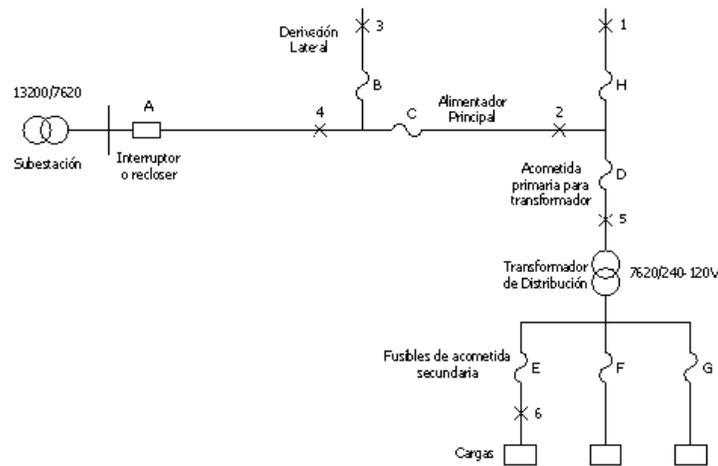


Figura 24. Coordinación de protecciones. [9]

1.1.12.2 Coordinación fusible de expulsión-fusible de expulsión.

12.15.2.1 Método 1: usando curvas tiempo-corriente.

Es un método muy práctico para coordinación de fusibles tipo H, N, T o K. Un estudio típico se muestra de la figura 25, para parte de un sistema de distribución. Se usarán fusibles de estaño tipo T en todos los dispositivos de protección.

La figura 26 muestra las curvas de tiempo de fusión mínima y tiempo de despeje máximo para posibles fusibles que pueden ser usados en los puntos A, B y C del sistema.

El fusible 15T ratado para 23 A (Tabla 15) hará frente a una corriente de carga de 21 A y provee un tiempo despeje máximo de 0.021 s para 1550 en el punto C (figura 29). El tiempo de fusión mínimo no es un factor crítico si otros dispositivos no necesitan ser coordinados con el último fusible de la rama. [6]

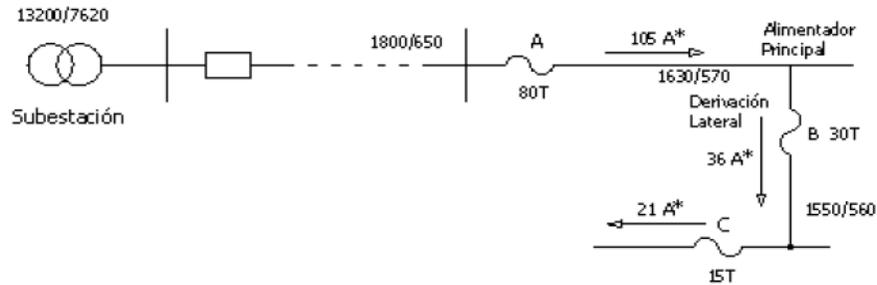


Figura 25. Ejemplo de coordinación Fusible - Fusible (de expulsión). [9]

Aparece ahora con un nuevo fusible que llevará 36 A continuos de carga, interrumpiendo 1630 A en el punto B y coordinado con el fusible 15T.

El fusible 20T no sirve puesto que puede transportar sólo 30 A (Ver Tabla 13). El siguiente fusible a seleccionar el 25T que puede llevar 38 A (Tabla 14) continuamente, pero para el fusible 25T el tiempo mínimo de fusión es de 0.016 s a 1550 A.

Puesto que el fusible 25T se quema antes de que el fusible 15T despeje la falla, la combinación no sirve para coordinación.

El tiempo mínimo de fusión del fusible 30T a 1550 A es de 0.031 s. [9]

Para obtener buena coordinación se debe cumplir que la relación:

$$\frac{\text{Tiempo de despeje máximo del fusible protector}}{\text{Tiempo de fusión mínima del fusible protegido}} \times 100 < 75\% \quad (5)$$

Que resulta ser menor al 75% que es el máximo para coordinación (no cumple).

Un fusible 80T interrumpirá satisfactoriamente 1800 A, transportando 105 A continuamente y coordinado con el fusible 30T en el punto B (vea Tabla 12), por lo tanto:

$$\frac{\text{Tiempo de despeje máximo 30T}}{\text{Tiempo de fusión mínima 80T}} \times 100 = \frac{0,051}{0,16} \times 100 = 32\% \quad (6)$$

Este valor resulta ser menor del 75% y la coordinación es satisfactoria. [6]

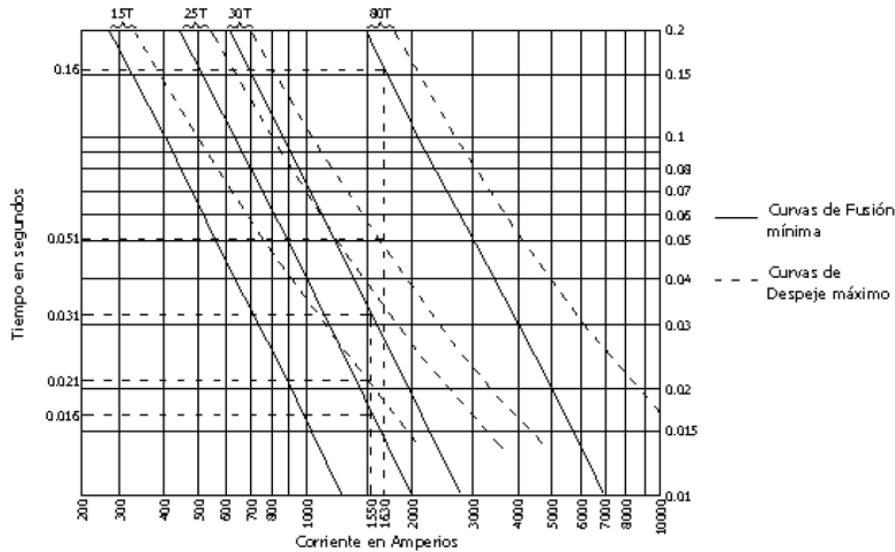


Figura 26. Curvas t-I para coordinación del circuito dado en la figura 25. [6]

Rango del fusible de protección I nominal (A)	Fusible Protegido I nominal (A)													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	Máxima corriente de fallo en la cual B protegerá A													
1H	125	280	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

Tabla 13. Coordinación entre fusibles tipo K y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6]

1.1.12.2.1 Método 2: Usando tablas de coordinación.

El uso de tablas de coordinación requiere que los fusibles sean operados dentro de su capacidad continua de corriente. Las Tablas 14 a 19 listan los fusibles de protección, los fusibles protegidos y la corriente máxima de falla a la cual la protección es asegurada.

Repitiendo el ejemplo anterior de coordinación usando la Tabla 15: Para el fusible de protección 15T el fusible protegido 25T sólo coordina por encima de 730 A (no sirve).

La Tabla 15 muestra que fusible 15T coordinará bien con fusible 30T por encima de 1700 A (mayor a 1630 A) con una corriente de transporte de 45 A según tabla 15 (mayor a 36 A de corriente de carga).

La Tabla 15 también muestra que el fusible 30T (como fusible de protección) se coordina con el fusible 80T (como fusible protegido) por encima de 5000 A (mayor a 1800 A) y una corriente de transporte continua de 110 A (Tabla 15) mayor a 105 A de corriente de carga.



**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.**

Obsérvese en la Tabla 15 que el fusible 65T no se coordina con 30T puesto que la corriente de transporte continua es de 95 A menor a 105 A de corriente de carga.

Las Tablas 14 a 19 muestran los valores máximos de las corrientes de falla a las cuales los fusibles EEI, NEMA se coordinan (K con K, T con T, K con H, T con H y N con N). Estas tablas están basadas en las curvas de tiempo de despeje máximo para los fusibles de protección y el 75% de las curvas de tiempo fusión mínima para los fusibles protegidos. [6]

Rango del fusible de protección I nominal (A)	Fusible Protegido I nominal (A)														
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K	
	Máxima corriente de fallo en la cual B protegerá A														
6K		190	350	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
8K			210	440	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
10K				300	540	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
12K					320	710	1050	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
15K						430	870	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
20K							500	1100	1700	2200	2800	3900	5800	9200	
25K								660	1350	2200	2800	3900	5800	9200	
30K									850	1700	2800	3900	5800	9200	
40K										1100	2200	3900	5800	9200	
50K											1450	3500	5800	9200	
65K												2400	5800	9200	
80K													4500	9200	
100K													2000	9100	
140K														4000	

Tabla 14. Coordinación entre fusibles tipo K (EEI-NEMA). [6]

Rango del fusible de protección I nominal (A)	Fusible Protegido I nominal (A)														
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K	
	Máxima corriente de fallo en la cual B protegerá A														
6T		350	680	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
8T			375	800	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
10T				530	1100	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
12T					680	1280	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
15T						730	1700	2500	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
20T							990	2100	3200	4100	5000	6100	9700	15200	
25T								1400	2600	4100	5000	6100	9700	15200	
30T									1500	3100	5000	6100	9700	15200	
40T										1700	3800	6100	9700	15200	
50T											1750	4400	9700	15200	
65T												2200	9700	15200	
80T													7200	15200	
100T													4000	13800	
140T														7500	

Tabla 15. Coordinación de fusibles tipo T (EEI-NEMA). [6]





**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.**

Rango del fusible de protección I nominal (A)	Fusible Protegido I nominal (A)													
	8K	10K	12K	15K	20K	25K	30K	40K	50K	65K	80K	100K	140K	200K
	Máxima corriente de fallo en la cual B protegerá A													
1H	125	280	380	510	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
2H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
3H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
5H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200
8H		45	220	450	650	840	1060	1340	1700	2200	2800	3900	5800	9200

Tabla 16. Coordinación entre fusibles tipo K y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6]

Rango del fusible de protección I nominal (A)	Fusible Protegido I nominal (A)													
	8T	10T	12T	15T	20T	25T	30T	40T	50T	65T	80T	100T	140T	200T
	Máxima corriente de fallo en la cual B protegerá A													
1H	400	520	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
2H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
3H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
5H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200
8H	240	500	710	920	1200	1500	2000	2540	3200	4100	5000	6100	9700	15200

Tabla 17. Coordinación entre fusibles tipo T y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6]

La protección de habilitación de tipo "K" Fusile Enlace Ampere	Tipo protegida Clasificación "K" Fuse Enlace Ampere															
	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	sesenta	cinco80	100	140	200	
	Las corrientes máximas (amperes) sobre la seguridad de Coordinación															
1	145	220	295	370	490	620	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
2	100	185	295	370	490	620	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
3	60	150	295	370	490	620	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
6			170	320	490	620	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
8				190	400	620	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
10					250	480	840	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
12						310	700	1000	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
15							440	750	1300	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
20								480	1000	1600	2250	2650	3450	5800	9400	
25									600	1175	2250	2650	3450	5800	9400	
30										740	1840	2650	3450	5800	9400	
40											1150	1950	3450	5800	9400	
50												1250	2650	5800	9400	
65													1500	5800	9400	
80														4800	9400	
100															3000	9400
140																4500
200																

Tabla 18. Tabla de coordinación para chance tipo "k" (rápido) ANSI fuse links. [16]



**Formando líderes para la construcción de un
nuevo país en paz**



**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.**

Protecting Type "T" Fuse Link Ampere Rating	Protected Type "T" Fuse Link Ampere Rating														
	6	8	10	12	15	20	25	30	40	50	65	80	100	140	200
	Maximum Currents (R.M.S. Amperes) For Safe Co-ordination														
1	280	390	510	690	920	1150	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
2	280	390	510	690	920	1150	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
3	280	390	510	690	920	1150	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
6			340	690	920	1150	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
8				400	850	1150	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
10					480	990	1500	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
12						550	1190	1900	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
15							670	1500	2490	3000	3900	4800	6200	9500	15000
20								890	2000	3000	3900	4800	6200	9500	15000
25									1100	2250	3900	4800	6200	9500	15000
30										1250	3000	4800	6200	9500	15000
40											1700	3700	6200	9500	15000
50												2100	5000	9500	15000
65													2700	9500	15000
80														6600	15000
100														3900	15000
140															5200
200															

Tabla 19. Tabla de coordinación para chance tipo "T" (lento) ANSI fuse links. [16]

1.1.12.2.2 Coordinación de fusibles según normativa Enelar ESP.

Se deben seguir dos principios básicos para obtener una adecuada coordinación de protecciones.

1. El dispositivo protector debe despejar una falla temporal o permanente antes de que el dispositivo protegido interrumpa el circuito en el caso de los fusibles u opere hasta el bloqueo en el caso de los reconectores.
2. La interrupción debida a fallas permanentes debe estar restringida a la menor sección del sistema durante el menor tiempo posible. [17]

Una regla esencial para la coordinación de fusibles establece que el tiempo máximo de despeje (Maximum Clearing Time) del elemento protector no debe exceder el 75% del tiempo mínimo de fusión (Minimum Melting Time) del elemento protegido. Con esto se asegura que el elemento protector interrumpa y despeje la falla antes de que sea dañado el elemento protegido. [17]

Otra regla importante define que la corriente de carga en el punto de aplicación no debe exceder la capacidad continua de corriente del elemento fusible, ya que éste se puede sobrecalentar y quemar causando una interrupción innecesaria del servicio. [17]

La coordinación entre fusibles puede ser hecha utilizando las curvas tiempo–corriente, tablas de coordinación o por reglas prácticas establecidas por la industria. Estos métodos son progresivamente fáciles en el orden dado, pero con las reglas prácticas no se logra la exactitud de coordinación que se lograría con las curvas o con las tablas de coordinación. [17]

El uso de las tablas de coordinación, implica que los fusibles sean operados dentro de su capacidad continua de corriente y que sean instalados en los cortacircuitos adecuados. [17]



III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

II.8 Ubicación.

El municipio de Arauquita está ubicado en la República de Colombia sobre la margen derecha del Río Arauca. en el sector norte y centro del departamento de Arauca y tiene una extensión territorial de aproximadamente de 3.281,23 km².



Figura 27. Fotografía municipio de Arauquita.

La empresa de energía ENELAR E.S.P. es una empresa que presta el servicio de distribución y comercialización de energía aportando al desarrollo económico y social de la región araucana. suministra el servicio eléctrico en las zonas norte, sur y centro del departamento de Arauca. El servicio eléctrico en el municipio de Arauquita está dividido en área urbana y rural. La red del suministro eléctrico que alimenta el área rural recorre una extensión mayor a la urbana debido a 153 veredas las cuales es necesario prestarles el servicio eléctrico. El número de veredas y ubicación geográfica presenta un desafío para la prestación de servicio debido a la distancia, vegetación abundante.

II.9 Alimentador.

La línea AQ0102 de media tensión de la zona norte de la empresa de energía eléctrica ENELAR ESP del municipio de Arauquita es la encargada de alimentar la zona rural dentro de la cual se encuentran las veredas que hacen parte del distrito 8. El suministro eléctrico proporcionado por la red de media tensión está sujeto a situaciones no previstas en el diseño asociadas con las condiciones del terreno como observa en la figura 28.



Figura 28. Falla debida a vegetación cercana a la red.

Los eventos exponen a los usuarios de forma regular a la suspensión del suministro siendo las principales causas los cambios climáticos y vegetación cercana a la red, que se combina con una inadecuada coordinación de protecciones. Lo que conlleva a tener un constante monitoreo de la red de distribución y unas características de diseño especiales en la cual el sistema de protecciones juega un papel importante para la prestación del servicio debido a que se puede garantizar un servicio con reducidos cortes de energía eléctrica con un diseño detallado y ajustado a las condiciones que se puedan llegar a presentar.

II.10 Alcance de la coordinación.

Lo que se busca con este trabajo es realizar el ajuste de protecciones de los seccionadores encargados de la apertura de los ramales de media tensión. Planteando la posible implementación de un tipo de fusible diferente al ya instalado que se ajuste a las condiciones en las que se encuentra sometida la red de alimentación logrando a si un sistema más robusto ante las fallas además de hacer revisión del funcionamiento de los fusibles actuales. Con el fin de ajustar de forma adecuada los valores existentes reduciendo los usuarios afectados vinculados de forma indirecta a los eventos en diferentes puntos del sistema, para un servicio continuo con reducidos cortes de energía. Este tramo de red es elegido por ser una zona donde se tiene un número de salidas muy elevado debido a las condiciones del terreno y las practicas empleadas para realizar la coordinación.

El principal beneficiario seria la comunidad del distrito 8 del municipio de Arauquita en el que se realizara este diseño. La coordinación de las protecciones tendrá un impacto favorable para la empresa ya que se tendrá un análisis de los tipos de fusibles instalados, contemplando la posibilidad de

implementar un tipo de fusible más acorde con las condiciones sistema además de reducir los costos operativos y de materiales empleados en solucionar las fallas de este trayecto del sistema.

II.11 Identificación del sistema eléctrico.

La línea AQ0102 encargada de suministrar el servicio eléctrico a las veredas del distrito 8 con arranque en el seccionador S0463 que se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Arauquita con un nivel de tensión de 13,2 KV nominales, alimentada por un transformador Siemens con los siguientes datos placa.

Potencia	Relación de transformación	Conexión	Tipo de refrigeración	Potencia máxima	Impedancia
5 MVA	34.5/13.8 KV	DYn5	ONAN/ONAF	6.25 MVA	6.9 %

Tabla 20. Datos de placa característica del transformador.



Figura 29. Transformador de 5 MVA Subestación municipio Arauquita.

La red trifásica en media tensión del distrito 8 con arranque en el seccionamiento S0463 alimenta un total de 42 transformadores, se tienen instalados 39 monofásicos y 3 trifásicos. la red está distribuida como se observa en la figura 30, se tiene dos ramales principales los cuales cada uno tiene una cantidad de transformadores involucrados.

	Transformadores instalados		
	transformadores	Monofásico	Trifásico
Ramal 1	20	17	3
Ramal 2	22	22	

Tabla 21. Transformadores instalados ramal 1 y 2.

La distribución de los transformadores con su respectiva potencia nominal, distancia punto a punto de los conductores y la ubicación de los seccionadores se observa en el diagrama unifilar simplificado de la figura 31.

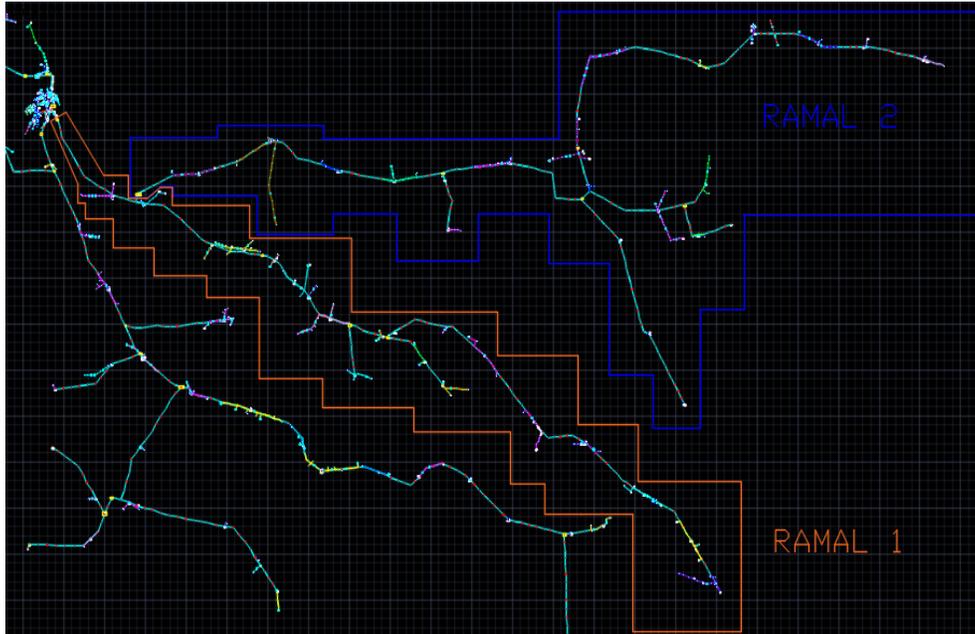


Figura 30. Distribución de red en media tensión distrito 8.

1.1.13 Diagrama unifilar simplificado de red del distrito 8 municipio de Arauquita.

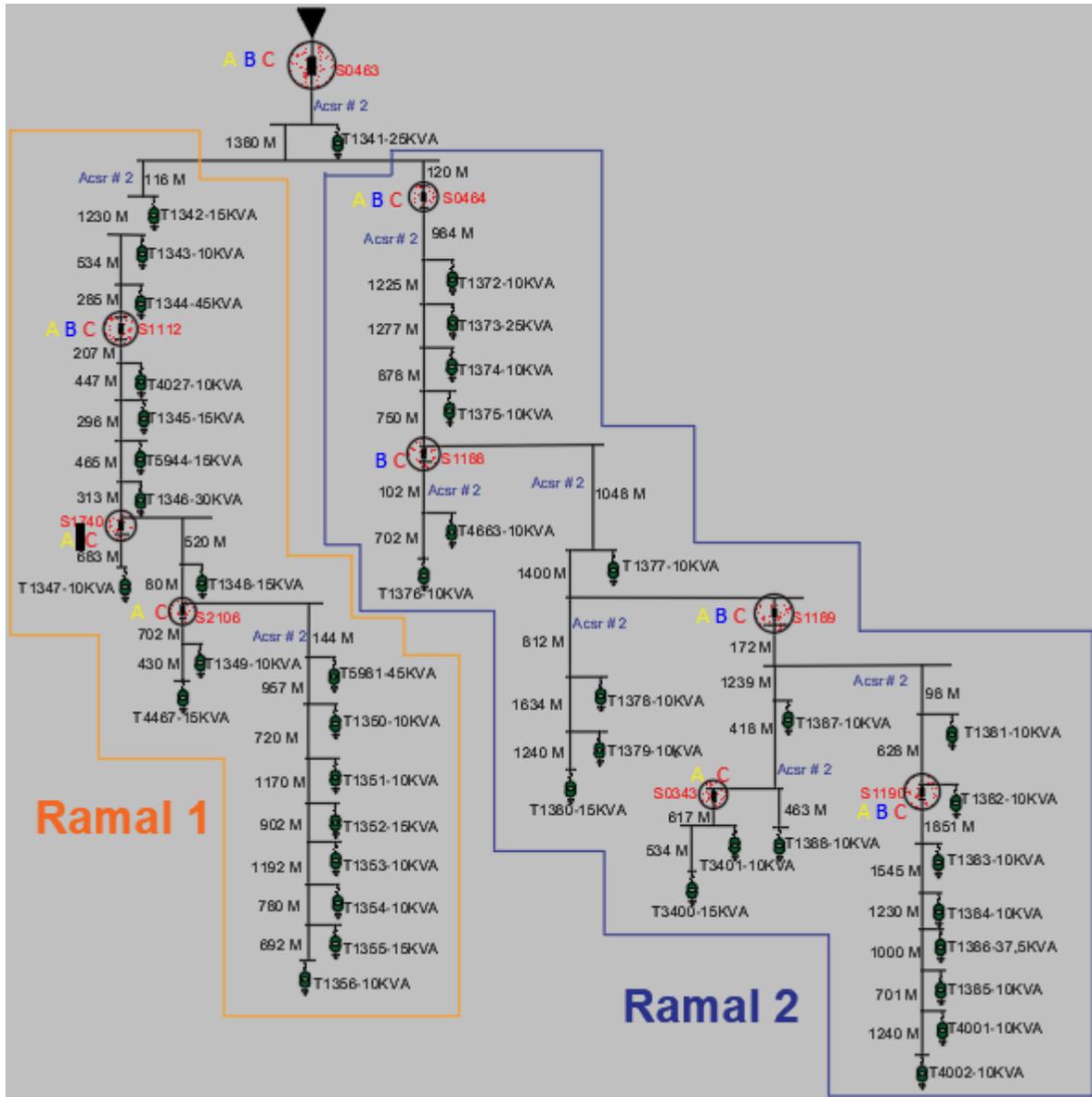


Figura 31. Diagrama unifilar veredas del distrito 8.

La figura 31 muestra el diagrama unifilar del distrito 8 con los transformadores encargados de suministrar el servicio eléctrico con su respectiva distribución, número de fases del sistema, ubicación de los seccionadores del circuito bajo estudio, longitud de la línea distribuida entre los tramos medidos.



**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.**

II.12 Usuarios alimentados por la línea AQ0102.

El alimentador de la red AQ0102 es la encargada de suministrar el servicio eléctrico a un total de 754 usuarios y 168 transformadores divididos entre el alimentador AQ0102 el troncal y el AQ0102 el oasis.

Alimentador del troncal		Alimentador el oasis	
Usuarios	Transformadores	Usuarios	Transformadores
480	89	274	79

Tabla 22. Usuarios alimentados por el alimentador AQ0102.

El seccionamiento S0463 donde se encuentra ubicado el arranque del circuito en el cual se realizará la coordinación de fusibles tiene una cantidad de usuarios descritas en la tabla 23.

Arranque del circuito S0463	
Usuarios	Transformadores
153	42

Tabla 23. Total, de usuarios del tramo red bajo estudio.

Los ramales 1 y 2 tienen una cantidad de usuarios asociada como se observan en la tabla 24.

Ramal 1		Ramal 2	
Usuarios	Transformadores	Usuarios	Transformadores
77	20	76	22

Tabla 24. Usuarios según el ramal de alimentación.

II.13 Análisis de los seccionadores involucrados.

1.1.14 Seccionadores del ramal 1.

El seccionador S0463 se encuentra ubicado en el arranque del circuito principal con una carga instalada de 612,5 KVA la cual está conformada por 42 transformadores.

En las tablas 26 a la 34 se observan los transformadores que dependen del funcionamiento del seccionador con respectivo código, en cada tabla se describe que transformadores están conectados al mismo nodo de conexión antes de un cambio de seccionador los cuales se encuentran aguas abajo. En la figura 31 se describe el orden de los seccionadores para la coordinación y ubicación de los fusibles.

SECC. LAS BANCAS (S.LL.Troncal) S0463						
Capacidad 612,5 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X	X	X			26,82
25,00	X	X		ABB	T1341	1,89
15,00	X		X	SIEMENS	T1342	1,14
10,00	X	X		CDM	T1343	0,76
45,00	X	X	X	CDM	T1344	3,41

Tabla 25. Seccionador S0463 arranque del circuito ramal principal.





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.

El seccionador S1112 tiene una potencia asociada de 240 KVA depende del seccionador S0463. Este seccionador tiene una carga aparente en amperios 10,51 A, pasan tres fases del sistema.

SECC. ESC. SANTA ISABEL (S. Bancas) S1112						
Capacidad 240 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X	X	X			10,51
10,00		X	X	SIEMENS	T4027	0,76
15,00		X	X	NO VISIBLE	T1345	1,14
15,00	X		X	RYMEL	T5944	1,14
30,00	X	X	X	AT	T1346	2,27
10,00	X		X	DUITEL	T1348	0,76
45,00	X	X	X	ABB	T5981	1,97
10,00	X		X	CDM	T1350	0,76
10,00	X		X	ABB	T1351	0,76
15,00	X		X	CDM	T1352	1,14
10,00	X		X	CDM	T1353	0,76
10,00	X		X	CDM	T1354	0,76
15,00	X		X	CDM	T1355	1,14
10,00	X		X	ABB	T1356	0,76

Tabla 26. Seccionador S1112 salida las bancas ramal 1.

El seccionamiento S1740 depende del S0463 y S1112, solo interrumpe un transformador con una capacidad de 10 KVA monofásico. Ya que es un ramal lateral que alimenta dos usuarios con capacidad nominal de 0,44 A.

SECC. JOSE QUINTANILLA (S. Esc. Santa Isabel) S1740						
Capacidad 10 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X		X			0,76
10,00	X		X	SIEMENS	T1347	0,76

Tabla 27. Seccionador con transformador asociado s1740 ramal 1.

Seccionador S2106 depende S0463 y S1112. Ramal lateral con capacidad instalada de 25 KVA, ubicado en el terminal del circuito con capacidad nominal de 1,09 A.

SECC. JULIO MEJÍA (S. Esc. Santa Isabel) 2106						
Capacidad 25 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X		X			1,09
10,00	X		X	CDM	T1349	0,76
15,00	X		X	SIEMENS	T4467	1,14

Tabla 28. Seccionador escuela Santa Isabel s2106 ramal 1.

1.1.15 Seccionadores del ramal 2.

El seccionamiento S0464 es el arranque del segundo ramal con una capacidad de 277,5 KVA con capacidad de corriente nominal 12,15 A, los seccionadores que dependen del S0464 son los descritos en las tablas 29 a 33.

SECC. CARRETERO (S. Las Bancas) S0464						
Capacidad 277,5 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X	X	X			12,15
10,00	X		X	CDM	T1372	0,76
25,00	X		X	SIEMENS	T1373	1,89
10,00	X	X		TESLA	T1374	0,76
10,00		X	X	TESLA	T1375	0,76
10,00	X		X	CDM	T1377	0,76
10,00	X		X	CDM	T1378	0,76
10,00	X		X	CDM	T1379	0,76
15,00	X		X	ABB	T1380	1,14

Tabla 29. Seccionador S0464 salida las bancas ramal 2.

El seccionamiento S1188 depende del S0464, interrumpe dos transformadores ubicados en un tramo de red lateral con una potencia comprendida entre dos transformadores de 10KVA con capacidad nominal 0,88 A.

SECC. LUCIO PERALTA (Carretero) S1188						
Capacidad 20 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA		X	X			0,88
10,00		X	X	ABB	T4663	0,76
10,00		X	X	SIEMENS	T1376	0,76

Tabla 30. Seccionador S1188 vereda carretero del ramal 2.

El seccionador S1189 interrumpe el S0343 Y S1190 con una carga 157,5 KVA instalados y corriente 6,9 A.

SECC. CRUCE BAYONERO (Carretero) S1189						
Capacidad 157,5 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X	X	X			6,90
10,00	X		X	CDM	T1381	0,76
10,00		X	X	CDM	T1382	0,76
10,00	X	X		ABB	T1387	0,76
10,00	X		X	MAGNETRON	T1388	0,76

Tabla 31. Seccionador S1189 ramal 2.

Seccionador S0343 ramal lateral terminal de circuito con potencia instalada 25 KVA carga en amperios de 1,09 A.



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.

SECC. JUAN BIMBAS (S. CRUCE BAYONERO) S0343						
Capacidad 25 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X		X			1,09
10,00	X		X	ABB	T3401	0,76
15,00	X		X	CDM	T3400	1,14

Tabla 32. seccionamiento S0343 ramal 2.

Seccionador S1190 final del ramal 2 con potencia instalada 92,5 KVA y corriente aparente de 4,05 amperios.

SECC. SALIDA CAJAROS (S. Bayonero) S1190						
Capacidad 92,5 KVA	A	B	C	Marca	Transformador	Corriente nominal
Potencia en KVA	X	X	X			4,05
15,00	X		X	ABB	T1383	1,14
10,00	X		X	ABB	T1384	0,76
37,50	X	X	X	ABB	T1386	2,84
10,00	X		X	ABB	T1385	0,76
10,00	X		X	ABB	T4001	0,76
10,00	X		X	CDM	T4002	0,76

Tabla 33. seccionamiento S1190 ramal 2.

II.14 Características de la línea.

La red encargada de suministrar el servicio eléctrico a las veredas del distrito 8 está compuesta por estructuras de paso de Angulo y retención en postería de 12 metros con conductor de aluminio ACSR # 2 el cual se encuentra parametrizado en el software SPARD como se muestra en la figura 32.

El conductor existente recorre una longitud para el ramal 1 de 15 km y el ramal 2 de 21.8 km de distancia recorriendo las veredas del distrito 8, los ramales principales están compuestos por red trifásica con un nivel de tensión nominal 13,2 kilovoltios y las derivaciones laterales están compuestas por dos fases debido a su corta distancia.

Esta red de alimentación es en aluminio desnudo lo que permite el contacto físico con elementos externos que pueden generar eventos de salida de ramales, por causa de árboles los cuales abundan en el terreno.

El conductor ingresado en la red que se parametrizará para la simulación del sistema se elegirá de la librería de ETAP con características similares de funcionamiento.



Figura 32. Atributos de conductor ACSR #2.

II.15 Reporte de fallas.

En los sistemas de distribución es común encontrar fallas debido a diferentes factores además de las condiciones del terreno que le suman más efectos dañinos al sistema. A raíz de esto las fallas más comunes que se presentan se deben a las siguientes condiciones:

- **Mantenimiento deficiente:** esto tiene que ver tanto con el manteniendo de los equipos eléctricos (componentes eléctricos dañados como aisladores flameados, rotos) como el control de la zona de servidumbre de la red de alimentación.
- **Accidentes provocados por animales:** por ejemplo, por murciélagos, lo cuales generan la salida de seccionadores en el área rural del municipio de Arauquita afectando el suministro eléctrico.
- **Sobretensiones por descargas atmosféricas:** En zona rural del municipio de Arauquita es común que ocurran descargas en tiempo de lluvias y se produzcan fallas por no existir un buen sistema de puesta a tierra para drenar las sobretensiones resultantes generando la salida de los seccionadores debida al aumento de tensión repentina en el sistema.
- **Ajuste incorrecto de protecciones:** la coordinación entre fusibles realizada en la zona rural sufre de malas prácticas en la instalación debido a la implementación de fusibles con valores erróneos y seleccionados al azar por los operarios.

NUMERO	EVENTO	MUNICIPIO	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACION	CODIGO	NOMBRE	DIRECCION
210126	ARAUQUITA	01/06/2017 00:35:02	01/06/2017 00:39:22	4,33	AQ0201	ALIMENTADOR	PES-13 INTERRUPTOR	
210127	ARAUQUITA	01/06/2017 01:42:17	01/06/2017 01:43:07	0,83	RL_PAN 34	INTERRUPTOR DE LINEA	RC-PAN INTERRUPTOR	
210129	ARAUQUITA	01/06/2017 03:42:15	01/06/2017 03:43:06	0,85	AQ0201	ALIMENTADOR	PES-13 INTERRUPTOR	
210133	ARAUQUITA	01/06/2017 06:04:53	01/06/2017 07:44:54	100,02	S0209	SECCIONADOR	LA ESMERALDA	
210134	ARAUQUITA	01/06/2017 06:08:50	01/06/2017 07:23:13	74,38	S0415	SECCIONADOR	BOCAS	
210135	ARAUQUITA	01/06/2017 06:14:01	01/06/2017 07:43:48	89,78	S0463	SECCIONADOR	VDA LAS BANCAS	
210136	ARAUQUITA	01/06/2017 06:14:35	01/06/2017 09:30:30	195,92	S1078	SECCIONADOR	SALIDA S/E	
210150	ARAUQUITA	01/06/2017 07:03:13	03/06/2017 05:03:25	2760,2	CRA 13	INTERRUPTOR DE TRANSFORMADOR	VDA. BOCAS DEL ELE / FCA. MI RANCHITO / ARAUQUITA	
210157	ARAUQUITA	01/06/2017 07:23:00	01/06/2017 09:08:22	105,37	T1324	TRAFO	VDA. PERALONSO / CASERIO / ARAUQUITA	
210159	ARAUQUITA	01/06/2017 07:26:18	01/06/2017 14:20:16	413,97	S0216	SECCIONADOR	San Luis Pal	
210161	ARAUQUITA	01/06/2017 07:30:30	02/06/2017 06:48:11	1397,68	S0122	SECCIONADOR	VD LA PESQUERA	
210166	ARAUQUITA	01/06/2017 07:51:36	01/06/2017 08:40:37	49,02	T5834	TRAFO	VDA. 4 ESQUINAS / FCA. LA VERAQUERA / ARAUQUITA	
210173	ARAUQUITA	01/06/2017 08:06:58	01/06/2017 10:58:28	171,5	S1087	SECCIONADOR	VDA ARAGUANAY	
210197	ARAUQUITA	01/06/2017 09:08:13	01/06/2017 10:09:13	61	S0997	SECCIONADOR	VDA GAVIOTAS	
210216	ARAUQUITA	01/06/2017 10:20:43	01/06/2017 11:25:23	64,67	T0754	TRAFO	VDA. PLAYA RICA / FCA. LA INDIA / ARAUQUITA	

Figura 33. Reporte de fallas para el municipio de Arauquita.



**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.**

Debido a las fallas más comunes mencionadas se presenta un número de salidas de operación del sistema las cuales son pobremente reportadas al centro de control debido a la falta de información, para tener un seguimiento continuo del circuito. El reporte del tipo de falla y lugar donde se genera se hace necesario para determinar y solucionar problemas que pueden afectar a usuarios que no están directamente asociados a las fallas. Los reportes enviados al centro control en los cuales solo se indica el seccionador que realizo la apertura, la hora y con qué fusible se normalizo el sistema como se observa en la figura 34, la información es reducida para evaluar el sistema de protección.

Maniobra hecha desde SCADA
 Maniobra hecha desde SCADA
 Maniobra hecha desde SCADA
 Cambio de fusible 1*6A Israel Blanco
 Cambio de fusible 1*20A Javier Pedraza
 Cambio de fusible 1*10A Daniel Ojeda
 Consignado por falla desconocida, no recibe los cierres. Edgar Valencia
 Abierto bajo CONSIGNACION # 2903REALIZAR EL TRASLADO DE ESTRUCTURA DE MEDIA TENSIÓN E INSTALACIÓN DE CUBIERTAS POLIMERICAS RPT. R. LOPEZ Y L. ENOC
 Cambio de fusible 2*1A Daniel Ojeda
 SE ABRE SEGUN CONSIGNACION 2911 MANTENIMIENTO DE SERVIDUMBRE RPT. I. BLANCO
 Cambio de fusible 1*15A Jose Navarro
 Cambio de fusible 2*1A Diego Florez
 Se cambio un fusible de 15 amp. Jose Orduz
 Cambio de fusible 1*4A Javier Pedraza
 Consignado por falla desconocida. Javier Pedraza
 Cambio de fusible 1*3A Jose Orduz
 FUSIBLE QUEMADO
 SACA TRES CAÑUELAS CARRO TOCO UN POSTE DE BT
 SACA AUNA CAÑUELA
 REPORTA J.PEDRAZA QUE ESTA SUELTO UN BAJANTE EN MT 16:58
 Maniobra hecha desde SCADA ICCP CAÑO LIMÓN ARAUQUITA 34.5 RECIERRE EXITOSO

Figura 34. Descripción de las operaciones realizadas en campo.

Con la información del reporte de fallas se pueden determinar el número de salidas de un seccionador en el año e indicar cuales seccionadores son los que más han tenido apertura debido a fallas y brindar un breve índice de una mala coordinación de protecciones ya que no se conoce el punto del evento.

II.16 Reporte de salidas de los seccionadores.

Las aperturas en su mayoría debidas a eventos en el año 2017 se presentaron en los seccionadores del arranque de cada ramal del sistema de alimentación del distrito 8 como se observa en la tabla 34 y 35. los seccionadores S0463 y S0464 presentan una salida de operación más continua que los fusibles que se encienden aguas abajo. Lo que afecta a los 153 usuarios ante la falta de la sectorización de las fallas por medio de la coordinación de protecciones.

AÑO 2017									
RAMAL 1									
Seccionador	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16
S0463	3	3	1	11	14	5	6	6	2
S1112	0	1	3	25	11	5	2	2	2
S1740	0	3	7	0	0	0	1	0	1
S2106	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 34. Salidas reportadas durante el año 2016 seccionadores del distrito 8 ramal 1.





**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.**

AÑO 2017									
RAMAL 2									
Seccionador	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16
S0464	8	3	7	9	14	12	6	5	4
S1188	0	0	0	0	2	1	0	0	0
S1189	0	0	0	1	1	1	1	2	1
S0343	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1190	0	0	0	0	2	2	0	0	0

Tabla 35. Salidas reportadas durante el año 2016 seccionadores del distrito 8 ramal 2.

Un caso en particular que lleva a estos resultados descritos en las tablas 34 y 35 son las prácticas inadecuadas empleadas por los operarios para realizar la coordinación de los fusibles instalados. Se instalan valores de fusibles con capacidad nominal mayor en los seccionamientos aguas debajo de tal manera que la apertura de los fusibles debido a fallas se presenta en los seccionamientos S0463, S1112 y S0464 ubicados en el arranque de los ramales, afectando todos los usuarios de forma regular. La instalación de los fusibles de manera errónea busca generar la salida de los seccionadores ubicados en el arranque del circuito, que son los que se encuentran ubicados en cercanías de la vía, facilitando la reinsersión del portafusible. Sin importar donde se generó la falla o que la causo, lo cual puede impedir el restablecimiento del servicio de forma eficiente, un aspecto importante a tener en cuenta es que no se está considerando el número de usuarios afectados por esta práctica reduciendo los índices de confiabilidad del servicio.

Los valores nominales de los fusibles instalados actualmente se encuentran descritos en la tabla 36 la información fue obtenida por medio de los operarios y el centro de control.

Fusibles instalados	fusible	
Seccionador	S0463	6 A
	S1112	8 A
	S1740	4 A
	S2106	4 A
	S0464	12 A
	S1188	4 A
	S1189	20 A
	S0343	4 A
	S1190	30 A

Tabla 36. Fusibles de expulsión instalados en la actualidad.

Se hace necesario realizar la simulación en el software ETAP para observar las características de los fusibles instalados bajo condiciones de cortocircuito.

IV. DESCRIPCIÓN DE FUSIBLES EXISTENTES Y NUEVOS PARA PRUBAS.

II.17 Características de los fusibles tipo h instalados en las redes de distribución de ENELAR ESP.

Los fusibles empleados en las redes del sistema de la empresa de energía Enelar ESP, son utilizados por sus características de fusión extra rápida lo que permite un rápido accionamiento ante eventos que se puedan llegar a presentar. Estos fusibles tienen unas características de conducción de servicio continuo, pueden transportar hasta 100 % de su corriente nominal con una relación de velocidad muy baja.

Estos fusibles protegen de manera eficiente a los transformadores debido a sus características de fusión rápida, por otro lado, para la protección en seccionamientos de redes de distribución rurales puede no ser la mejor opción para tener un sistema robusto ante los eventos que se puedan presentar ya que en caso de un evento temporal como el rose de una rama puede fundir el fusible convirtiendo la falla temporal a permanente pero si logra soportar la corriente de este evento se puede seguir suministrando el servicio eléctrico sin ninguna interrupción.

La relación de fusión de los fusibles instalados puede ser determinada por medio de los datos del fabricante el cual facilita las curvas características de tiempo corriente del fusible tipo H como tiempo mínimo de fusión, tiempo máximo y tiempo total de despeje con sus respectivos valores nominales.

La relación de velocidad para el fusible tipo h existente según la ecuación 1 del numeral 1.1.6.2 en la cual se calcula la relación de velocidad para determinar la velocidad a la opera un fusible.

$$\text{Relación de velocidad} = \frac{I \text{ de fusión a } 0.1 \text{ s}}{I \text{ de fusión a } 300 \text{ s}} \quad (7)$$

Tomando los valores de la curva de fusión mínima del fusible de 1 A de la figura 45 para un tiempo 0.1 segundos se tiene una corriente de 13 A y para 300 segundos 2 A realizando el cálculo se tiene.

$$RV \text{ tipo H} = \frac{13}{2} = 6,5 \quad (8)$$



Figure 35. Fusibles empleados por la empresa de energía ENELAR ESP.

Indicando según la normativa C37.42, que la relación de velocidad pertenece a un fusible extra rápido.



**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.**

Las características de corriente del fusible tipo H extra rápido se describen en la tabla 37. Estos valores de corriente varían con respecto al tiempo en segundos e indican a que corriente con respecto a un tiempo 300, 10 y 0,1 puede generar la fusión del fusible.

Corriente nominal permanente (A)	Corriente nominal 300 Segundos		Corriente nominal 10 Segundos		Corriente nominal 0,1 segundos		Relación de Velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1	2	2,4	Nota 1	3	Nota 1	22	Nota 1
2	3,4	4	Nota 1	4,8	Nota 1	35	Nota 1
3	4	4,8	Nota 1	5,8	Nota 1	46	Nota 1
4	5,6	6,8	Nota 1	8	Nota 1	50	Nota 1
5	7	8,4	Nota 1	9,6	Nota 1	74	Nota 1
6	8,4	10	9	11	48	74	5,7
7	9,8	11,7	11	13,8	56	74	5,7
8	11,2	13,5	12	14,5	61	74	5,4
10	14	17	16	20	78	94	5,5
12	17	20,5	19	23	91	110	5,3
15	21	25	24	29	113	136	5,3
20	28	34	32	39	142	171	5
25	35	42	40	48	168	201	4,8
30	42	50	48	58	210	252	5
40	56	67	65	78	288	346	5,1
50	70	84	80	97	329	395	4,7
65	91	110	108	130	497	598	5,4
80	112	135	130	156	719	862	6,4
100	140	168	160	190	779	935	5,5

Tabla 37. Corrientes de fusión fusible tipo H. [18]

Nota 1: No se indica ningún valor puesto que el requisito es que los valores nominales de 1, 2, 3 A deben coordinar con el valor de 6 A, pero no necesariamente entre ellos.

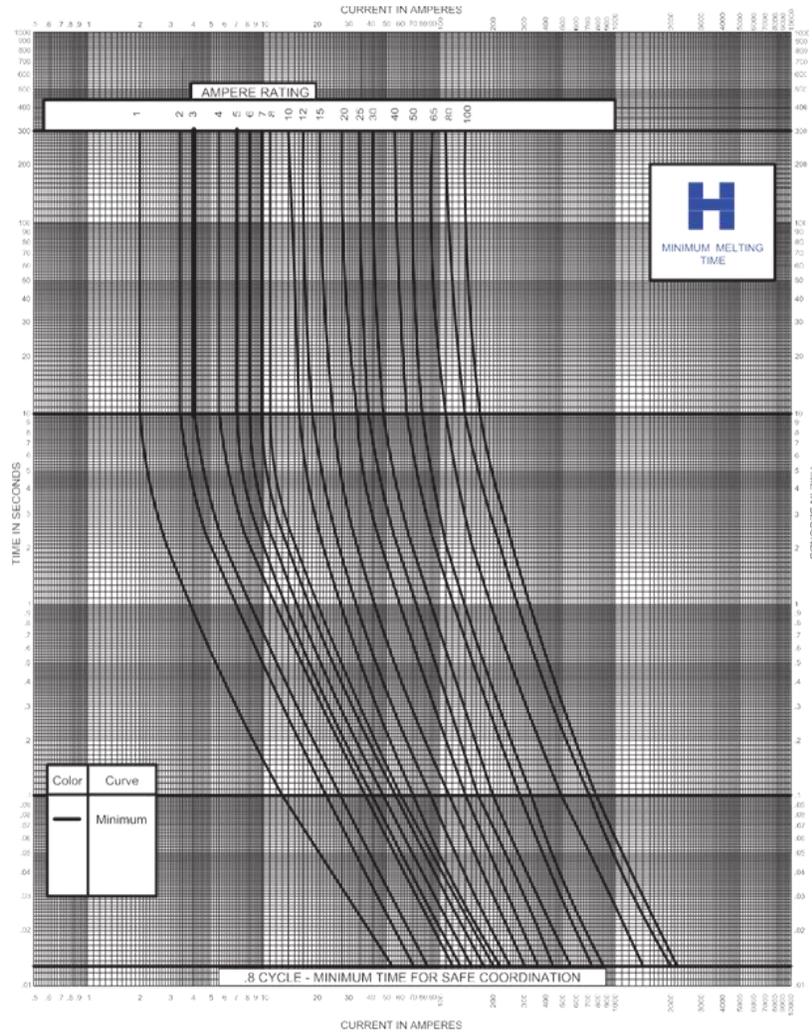


Figura 35. características tiempo corriente fusible tipo H, mínimo tiempo de fusión. [8]

II.18 Características de los fusibles tipo k, t y dual.

1.1.16 Fusibles tipo K.

Las características del fusible tipo k según la norma C37-42 conducen hasta 150 % de su In sin daños para un material de estaño y 100 % para fusibles de plata, con relación de velocidad de 6 a 8, tipo rápido remueve las fallas en un menor tiempo. Con velocidad menor al fusible tipo H de alta descarga. Características de funcionamiento continuo con nivel de tensión máximo menor o igual 34,5 kilovoltios.

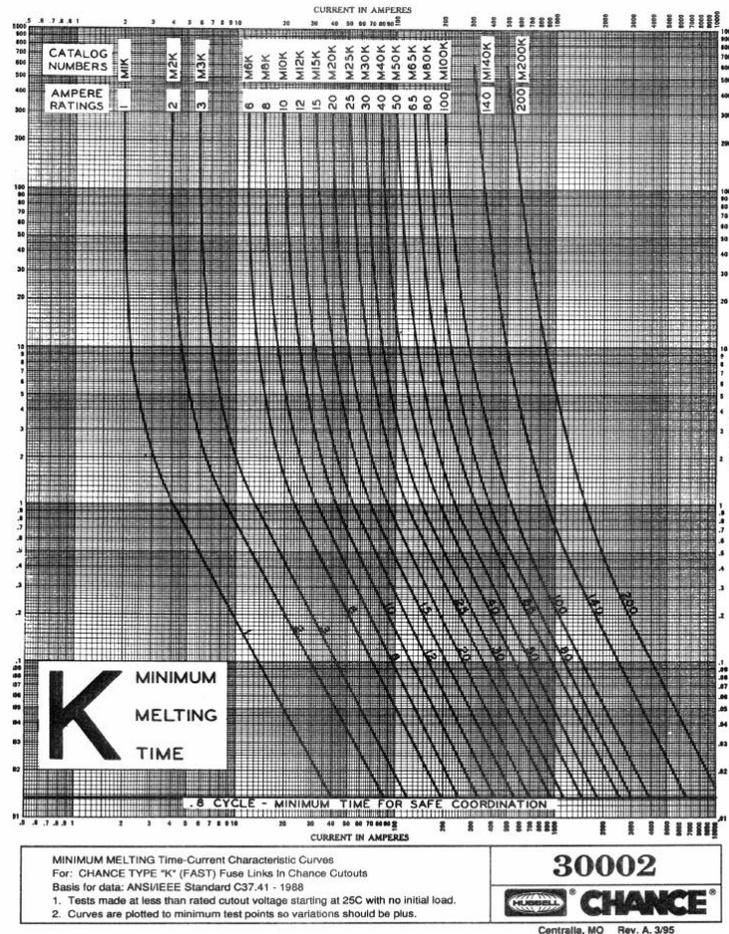


Figura 36. Curvas tiempo corriente fusibles hubbell chance K tipo expulsión. [19]

En la figura 36 pueden observarse las curvas tiempo corriente de fusión mínima del fusible tipo K Hubbell Chance, los cuales están normalizados para su fabricación de 1 A a 200 A que serán ingresadas en el software ETAP permitiendo la selección y ajuste como protección de la red de media tensión y transformadores existentes. Para este proceso se hace necesario conocer las características de corriente nominal para 300 s, 10s y 0,1 s mínima y máxima para consideraciones de selección descritas en la tabla 38.



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.

Corriente nominal permanente (A)	Corriente nominal 300 Segundos +		Corriente nominal 10 Segundos		Corriente nominal 0,1 segundos		Relación de Velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1	2	2,4	Nota 1	10	Nota 1	58	Nota 1
2	4	4,8	Nota 1	10	Nota 1	58	Nota 1
3	6	7,2	Nota 1	10	Nota 1	58	Nota 1
6	12	14,4	13,5	20,5	72	86	6
8	11	18	18	27	97	166	6,5
10	19,5	23,4	22,5	34	128	154	6,6
12	25	30	29,5	44	166	199	6,6
15	31	37,2	37,2	55	215	258	6,9
20	39	47	48	71	237	328	7
25	50	60	60	90	344	420	7
30	63	76	77,5	115	447	546	7,1
40	80	96	96	146	565	680	7,1
50	101	121	126	188	719	862	7,1
65	128	153	159	237	918	1100	7,2
80	160	192	205	307	1180	1420	7,4
100	200	240	258	388	1520	1820	7,6
140	310	372	430	650	2470	2970	8
200	480	576	760	1150	3880	4650	8,1

Tabla 38. Corrientes de fusión fusible tipo K. [18]

Nota 1: No se indica ningún valor puesto que el requisito es que los valores nominales de 1, 2, 3 A deben coordinar con el valor de 6 A, pero no necesariamente entre ellos.

1.1.17 Fusibles tipo T.

Los fusibles tipo T tienen características de fusión lenta en comparación con los fusibles tipo K y tipo H, tienen mayor resistencia a transitorios y corrientes de arranque con relación de velocidad de 10 a 13, conduciendo hasta un 150 % de su corriente nominal. Son idóneos para la coordinación en redes de distribución rurales a de más de coordinar bien con otros tipos de fusibles.

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.

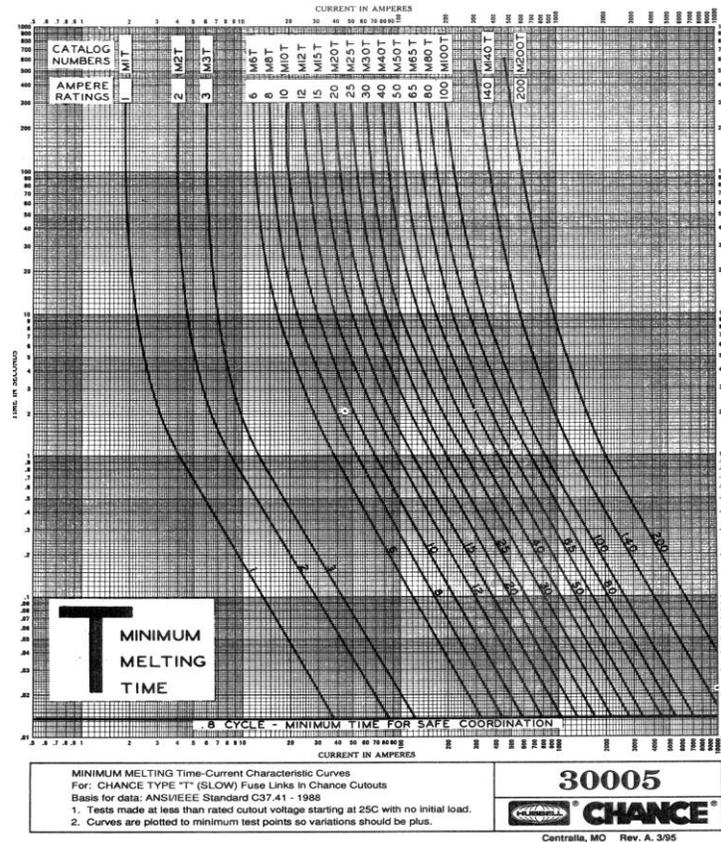


Figura 37. Curvas tiempo corriente fusibles hubbell chance T tipo expulsión. [19]

La figura 37 muestra los valores normalizados de los fusibles tipo T comerciales de 1 A a 200 A de la marca Hubbell Chance. las curvas pertenecen a las de fusión mínima del fusible tipo T que se comporta de manera diferente a los fusibles tipo K y T. las curvas serán ingresadas al software ETAP para el ajuste de protecciones del sistema. La tabla 47 se describen las características de fusión mínima ante una corriente a 300 s, 10 s y 0,1 segundos.

Corriente nominal permanente (A)	Corriente nominal 300 Segundos +		Corriente nominal 10 Segundos		Corriente nominal 0,1 segundos		Relación de Velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
1	2	2,4	Nota 1	11	Nota 1	100	Nota 1
2	4	4,8	Nota 1	11	Nota 1	100	Nota 1
3	6	7,2	Nota 1	11	Nota 1	100	Nota 1
6	12	14,4	15,3	23	120	144	10
8	15	18	20,5	31	166	199	11,1
10	19,5	23,4	26,5	40	224	269	11,5
12	25	30	34,5	52	296	355	11,8
15	31	37,2	44,5	67	388	486	12,5
20	39	47	57	85	496	595	12,7
25	50	60	73,5	109	635	762	12,7



**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.**

30	63	76	93	138	812	975	12,9
40	80	96	120	178	1040	1240	13
50	101	121	152	226	1310	1570	13
65	128	153	195	291	1650	1975	12,9
80	160	192	248	370	2080	2500	13
100	200	240	319	475	2620	3150	13,1
140	310	372	520	775	4000	4800	12,9
200	480	576	850	1275	6250	7470	13

Tabla 39. Corriente de fusión fusibles tipo T. [18]

Nota 1: No se indica ningún valor puesto que el requisito es que los valores nominales de 1, 2, 3 A deben coordinar con el valor de 6 A, pero no necesariamente entre ellos.

1.1.18 Fusibles tipo DUAL.

Los fusibles duales o rápidos lentos con relación de velocidad de 13 a 20, llamados a si por que contienen dos elementos en 1, estos fusibles con una relación tan alta están diseñados para soportar corrientes elevadas gracias a su diseño debido a sus dos elementos uno de protección contra cortos y otro de sobrecarga además de sus características tiempo corriente que permiten el uso a plena carga de transformadores gracias a sus valores normalizados. Una de las principales características es la remoción inmediata del circuito en caso de falla del transformador o un daño repentino sin afectar su funcionamiento.

Las características eléctricas normalizadas para los fusibles tipo dual se aprecian en la tabla 40.

Corriente nominal permanente (A)	Corriente Nominal 300 Segundos		Corriente Nominal 10 Segundos		Corriente Nominal 0,1 segundos		Relación de Velocidad
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
0,4	1,2	1,5	5,8	6,7	36	45	30
0,6	1,9	2,3	8,5	9,8	41	49	21,5
0,7	2,1	2,5	9,4	11	43	52	20,4
1	3,1	3,6	13,5	16	60	74	19,3
1,3	3,9	4,5	16	19	68	84	17,4
1,4	4,2	5	17	20	72	90	17,1
2,1	6,3	7,5	29	34	110	140	17,4
3,1	9,6	12	38	44	155	190	16,1
3,5	11	13	41	47	165	203	15
5,2	15	18	57	66	250	310	16,6
6,3	18	21	64	74	300	365	16,6
7,8	24	28	82	96	400	475	16,6
10,4	29	34	98	115	500	620	17,2
14	44	52	132	158	580	720	13,1
21	69	82	185	225	940	1100	13,6

Tabla 40. Corrientes de fusión para fusibles tipo DUAL. [18]

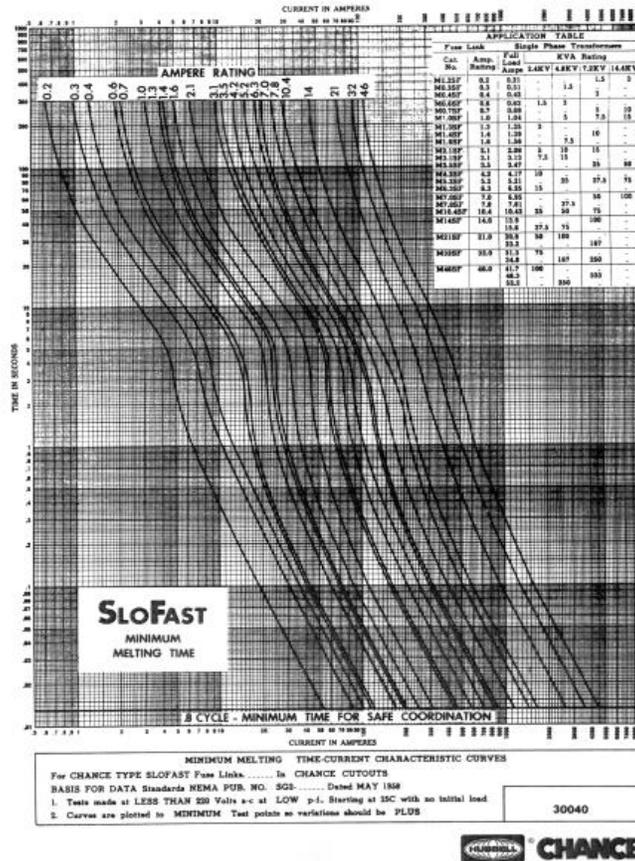


Figura 38. Curvas tiempo corriente fusibles Hubbell chance DUAL de tipo expulsión. [19]

En la figura 38 se observan las curvas tiempo corriente de los fusibles tipo dual Hubble chance con los valores normalizados 0,2 A a 46 A idóneos para la protección de transformadores.

1.1.19 Comportamiento de los fusibles tipo H, K, T Y DUAL.

Los fusibles según sea sus características de fusión van brindar diferentes operaciones bajo condiciones de cortocircuito en relación al tiempo de fusión del mismo. El caso de los fusibles descritos en la figura 39 se puede observar que un fusible tipo T con relación de velocidad lenta va a brindar mayor soporte térmico y de corriente que un fusible tipo H con relación de velocidad menor el cual es un extra rápido, el fusible tipo K se encuentra en la mitad de la relación de velocidad con un soporte mayor que el tipo H y menor que el tipo T lento. Estos fusibles con nivel de tensión máximo y corriente nominal similar pueden presentar variaciones en sus características de operación descritas según sea su relación de velocidad y las características constructivas con las cuales las diseñe el del comercializador, el fusible tipo dual slofast de 14 amperios nominales presenta una relación mayor que los fusibles descritos en la figura 39. El valor más cercano a los fusibles normalizados de 12 A es el de 14 A, es evidente aun con 2 amperios por encima tiene mayor soporte eléctrico.

Para un mismo tiempo de 0,1 segundos los fusibles manejan diferentes valores de corriente debido a su característica propia el fusible tipo H maneja para ese tiempo 113 A, el fusible tipo K 162 A, el

tipo T 293 A y el dual 568 A, los valores de corriente varían y es necesario tener en cuenta al momento de realizar coordinación de protecciones para escoger el mejor la mejor opción.

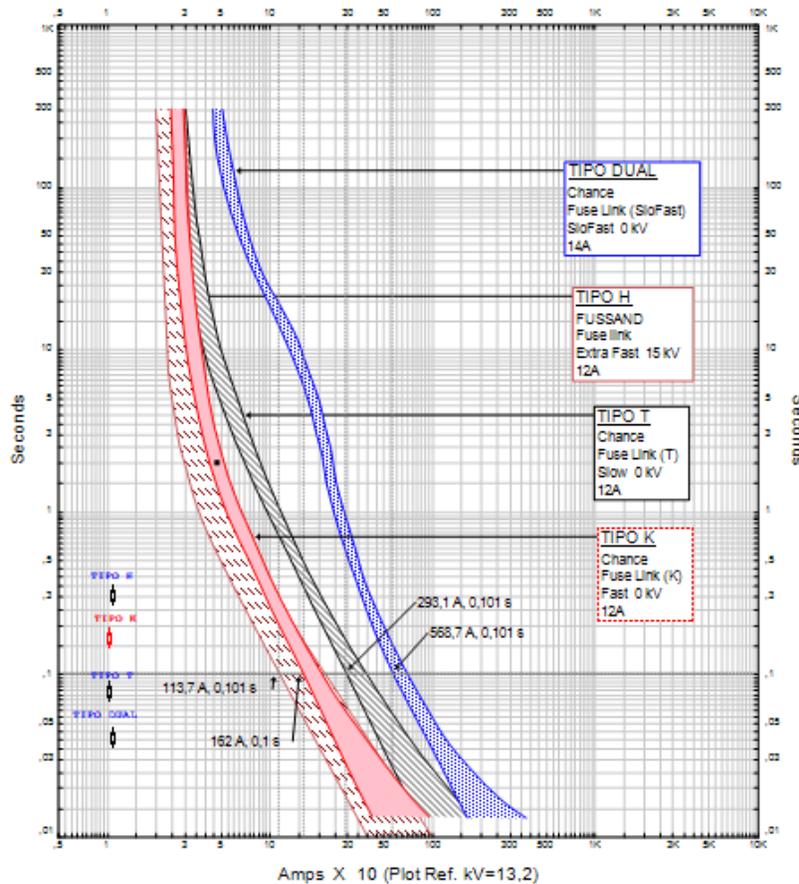


Figura 39. Curva tiempo corriente de fusión mínima de fusibles 12H, 12K, 12T Y DUAL. [7]

V. PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES.

Los criterios utilizados para la protección de los transformadores de distribución alimentados por el sistema en media tensión del distrito 8 será realizando teniendo en cuenta la normativa NTC 2797 donde se especifican las consideraciones a tener en cuenta para la protección de transformadores y la guía para realizar este procedimiento.

El ajuste de las protecciones será realizado en el software ETAP 12,6 donde es posible configurar las características del transformador permitiendo simular lo más real posible el funcionamiento del transformador considerando las corrientes Inrush, la curva de destrucción del transformador, como se observa en la figura 40 la interfaz del software es de fácil manejo al momento de seleccionar los elementos necesarios para un sistema ya sea de potencia o de distribución.

La nomenclatura de los elementos se puede encontrar según los estándares ANSI o IEC permitiendo la selección del estándar más ajustado a los requerimientos necesarios.

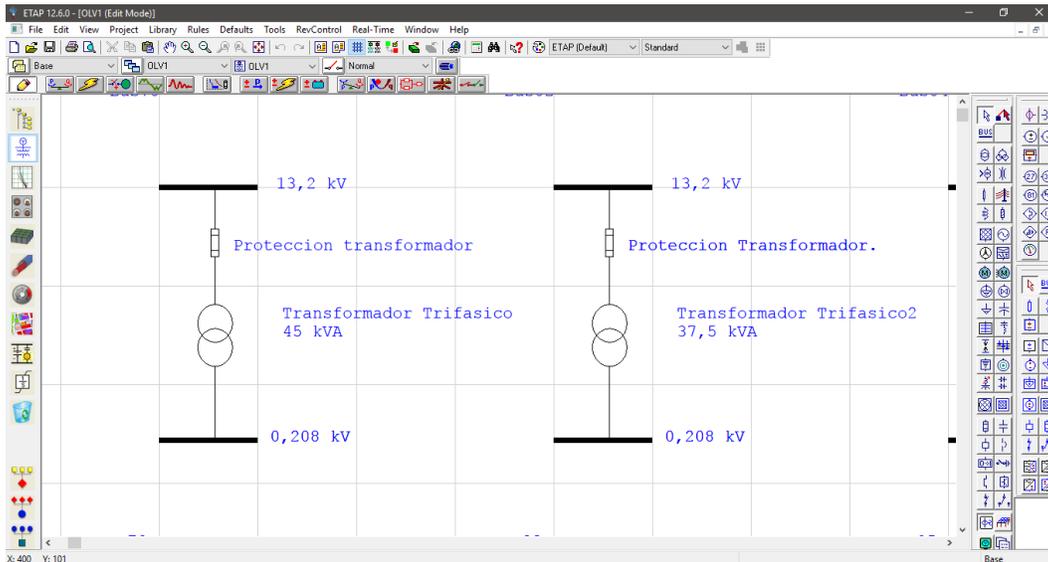


Figura 40. Interfaz del software ETAP POWERING SUCCESS. [7]

II.19 Metodología para ingresar la información de los fusibles.

Los fusibles existentes y los fusibles nuevos serán ingresados teniendo en cuenta su curva de tiempo corriente proporcionada por los fabricantes los cuales están normalizados para la venta. El software permite ingresar a su librería nuevos fusibles para los cuales se podrán ingresar las características de nivel de tensión máxima corriente nominal, tipo de fusible y modelo del fabricante como se observa en la figura 41, se tienen un gran número de fabricantes de fusibles según los estándares ANSI e IEC. Para la selección y coordinación del fusible deseado por el diseñador.

En la figura 42. Se muestra los fusibles normalizados para un nivel de tensión de 15 kv, tipo H de expulsión existente en la empresa de energía Enelar Esp. Los datos ingresados son las curvas tiempo corriente de fusión mínima y tiempo total de despeje como se observa en la figura 43. También se ingresa corriente nominal, tamaño, corriente de cortocircuito máxima la cual es esencial para simular los fusibles en caso de no tenerlos se pueden dejar las casillas en 0 al igual que TEST PF Y TEST X/R.

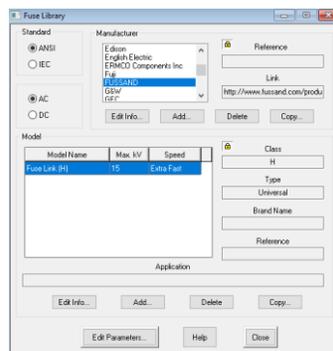


Figura 41. Librería de fusibles software ETAP. [7]

Size	Cont. Amp	Int. kA	Test PF	Test X/R	TCC	Construction	Note	Lock
1A	1	0	1	0	(Fast)			(L)
2A	2	0	1	0	(Fast)			(L)
3A	3	0	1	0	(Fast)			(L)
4A	4	0	1	0	(Fast)			(L)
5A	5	0	1	0	(Fast)			(L)
6A	6	0	1	0	(Fast)			(L)
7A	7	0	1	0	(Fast)			(L)
12A	12	0	1	0	(Fast)			(L)

Figura 42. Parámetros característicos de los fusibles. [7]

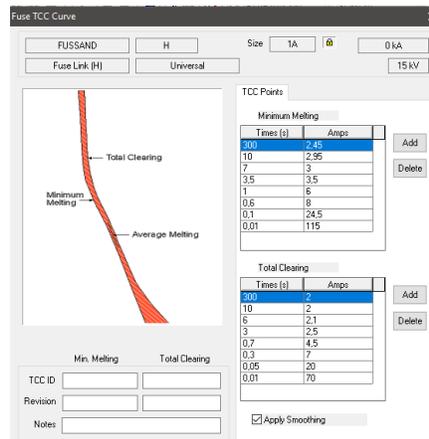


Figura 43. Menú de ingreso de puntos de las curvas tiempo corriente. [7]

Se pueden modificar o agregar nuevos puntos para diferentes fusibles según sean los datos de la curva de tiempo corriente estos varían con el fabricante y el tipo de velocidad que maneje, además de la corriente nominal.

II.20 Metodología para ingresar la información de los transformadores.

El software ETAP permite ingresar información detallada de transformadores ya sea baja potencia o potencias elevadas según los estándares ANSI e IEC. En la figura 44 se observan los datos iniciales para ingresar en el software como nombre del transformador, el estándar deseado con el cual se desea simular el trafo, además de agregar condiciones de servicio para su funcionamiento. El tipo de transformador se define por el número de fases del transformador ya sea trifásico o monofásico es necesario ingresar antes de conectar el transformador al sistema de alimentación para el caso de un sistema monofásico.

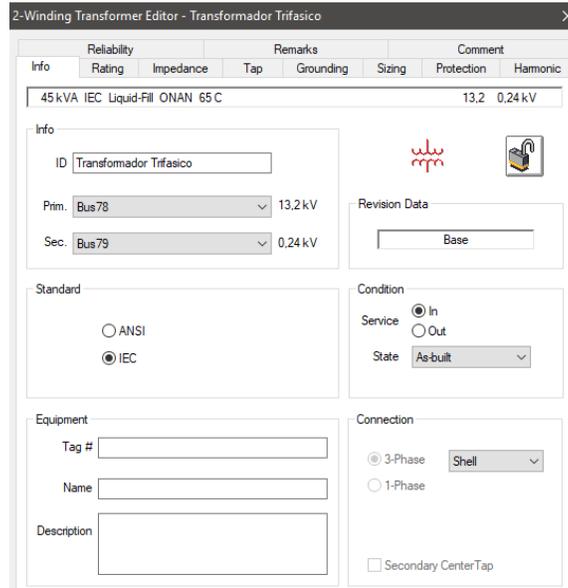


Figura 44. Menú para parámetros de transformadores en ETAP. [7]

Los valores nominales del transformador serán ingresados de acuerdo al funcionamiento que tendrá el transformador y sus características constructivas para una simulación adecuada, en la figura 45 se describen los datos esenciales a ingresar como potencia nominal, nivel de tensión, tipo de refrigeración, altitud de la instalación sobre el nivel del mar.

Se debe ingresar un valor de impedancia, en la figura 46 muestra la opción de seleccionar un valor de impedancia típica, así como de la relación X/R para el transformador ya sea trifásico o monofásico. La impedancia típica y los datos de la relación X / R para los transformadores ANSI de 2 devanados se basan en dos fuentes: American National Standard C57.12.10 e Industrial Power System Handbook de Beeman. Las cuales proporcionan datos característicos según sea la potencia del transformador. Para transformadores monofásicos la impedancia de secuencia cero no es tenida en cuenta por el software.

Los datos de prueba del transformador sin carga del transformador pueden ser elegidos o ingresados con valores típicos para la secuencia positiva y secuencia cero.

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.

Figura 45. Menú de datos nominales para transformadores. [7]

Figura 46. Menú de Impedancias nominales. [7]

El tap del transformador se configura de acuerdo al tipo del transformador ya que cada transformador tiene relación de tensión diferente y un numero de tap asociado al diseño del mismo, el porcentaje del tap va ser del 5 % por encima y por debajo del valor de tensión nominal este está ubicado en la posición 2 con nivel de tensión de 13,2 a 220 para trafos trifásicos y 240 trafo monofásicos.

Figura 47. Menú de configuración del Tap del transformador. [7]



La conexión del transformador puede ser elegida según la configuración del transformador para el caso de los transformadores existentes, los transformadores trifásicos tienen una conexión delta estrella con vector de conexión DYn5 con neutro aterrado por el secundario. Para el caso de los transformadores monofásicos el software ingresa de forma automática el tipo de conexión.

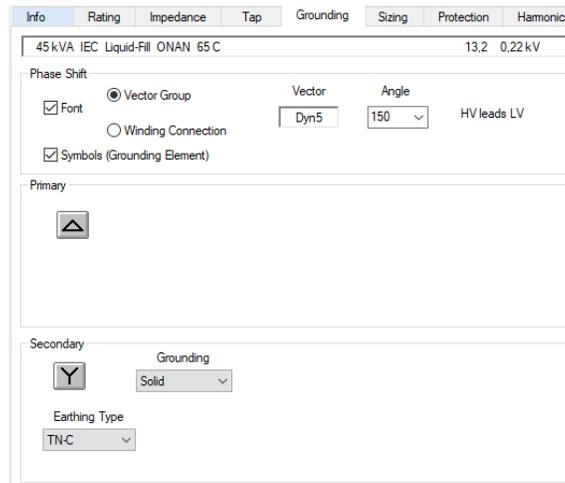


Figura 48. Menú selección de conexión de devanados. [7]

La protección del transformador se realizará ajustándose a la capacidad nominal del transformador, el software permite graficar la curva de destrucción del transformador, así como su corriente Inrush, para una potencia determinada la curva de destrucción varía según la NTC 2797 para transformadores menores a 500 KVA solo se debe tener en cuenta el daño térmico y por sobrecarga del transformador acompañada de la corriente de magnetización. Estas consideraciones son esenciales para la protección adecuada del transformador.

El valor de la corriente de magnetización varía con respecto al valor que dese multiplicar la corriente ETAP recomienda unos valores típicos de 5, 6, 8, 10, y 12. La duración en ciclos recomendada por software es de 6 ciclos esta dependerá de la duración que dese el diseñador.

Las contribuciones del transformador para las corrientes de cortocircuito pueden ser dos tipos calculada por el diseñador o definida por medio de un análisis de cortocircuito ejecutado en el sistema.

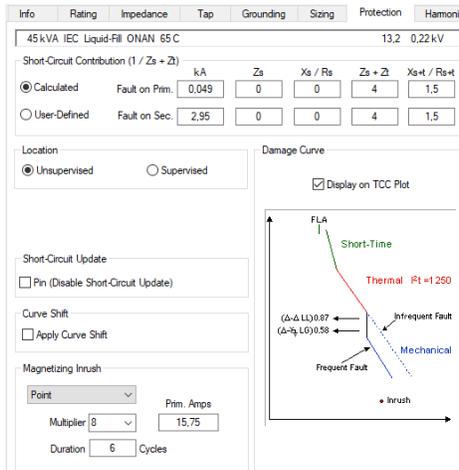


Figura 49. Menú selección de corriente de magnetización. [7]

II.21 Selección y simulación de los fusibles para la protección de transformadores.

1.1.20 consideraciones previas.

La protección de los transformadores existentes será realizada considerando aspectos del estándar ANSI C57-109 del se apeg a la normativa de la NTC 2797, En el cual se consideran aspectos como la corriente de energización, la curva de destrucción la cual varía según el nivel del transformador asociado a su potencia descrito en el numeral 11.11.2.

Para el nivel I según el estándar ANSI solo se consideran los daños sobrecarga y daño térmico del transformador como se observa en la figura 50, los transformadores existentes son de nivel 1 por tal motivo será necesario determinar las curvas correspondientes daño del transformador, así como de magnetización.

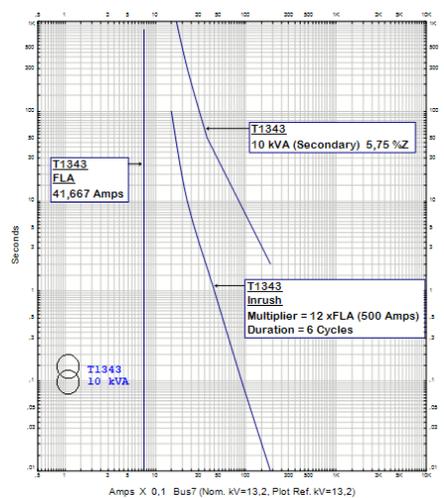


Figura 50. Curva de destrucción y magnetización según estándar ANSI 2797 de 1990, transformador de nivel I. [7]

1.1.21 Selección valores nominales del cortacircuitos.

Las características constructivas y eléctricas deberán cumplir con las especificaciones del estándar ANSI C37-42, en el cual se describen las condiciones para la operación de cortacircuitos y fusibles para niveles de tensión superior a 1000 v.

Las características eléctricas para el cortacircuito en un nivel de tensión de 13,2 kilovoltios deberán ser las siguientes, nivel de tensión de servicio 15 KV máximo, con intensidad continua asignada de 200 A, para una frecuencia de sistema de 60 Hz, la intensidad de corte simétrico deberá ser 10 KA con una línea de fuga superior o igual 210 mm metal-metal, el nivel de aislamiento está comprendido para un valor de 95 KV.



Figura 51. Cortacircuito melec.

Las consideraciones eléctricas según sea el nivel de tensión donde se implementará el cortacircuito variaran, estos valores se describen en la tabla 3 del numeral 1.1.9.3.

Dentro de las características constructivas el cortacircuito deberá cumplir con las dimensiones según su nivel de tensión. Para un nivel de tensión nominal de servicio 15 kilovoltios, se pueden ver las dimensiones en la tabla 2 del numeral 1.1.9.2.

Las características del cortacircuito cambian con el tipo de sistema en las tablas 5 y 6 se pueden establecer los valores nominales para cortacircuitos según su nivel de tensión y tipo de conexión del sistema facilitando la selección del cortacircuito adecuado.

1.1.22 Protección de transformadores monofásicos.

Los transformadores existentes, monofásicos son de nivel 1 según LA NTC 2797, según la metodología planteada en el numeral 1.1.11.2, se calculará la curva de destrucción y magnetización del transformador según su potencia nominal.



Figura 52. Transformadores monofásicos de 10 y 15 KVA.

Las potencias asociadas a los transformadores existentes se listan en la tabla 41 con sus respectivos valores nominales de servicio. La corriente nominal puede ser calculada por medio de la ecuación 9.

$$I_{nominal} = \frac{S_{trafo}}{VL} \quad (9)$$

Potencia nominal KVA	Nivel de tensión KV	I nominal A
10	13,2	0,758
15	13,2	1,136
25	13,2	1,894

Tabla 41. Valores nominales transformadores existentes.

Se ingresan los datos pertinentes en el software Etap Powering Success, según la metodología planteada en el numeral 1.1.23 para los transformadores de la tabla 41.

Para el transformador de 10 KVA monofásico se calcula la curva de destrucción y energización según la metodología planteada en el numeral 1.1.11.2 lo que da como resultado lo planteado en las tablas 42 a la 44.



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.

Soporte térmico			
In	N veces la corriente	Corriente en A	Tiempo en s
0,758	111,8	84,7444	0,1
0,758	25	18,95	2
0,758	11,3	8,5654	10
0,758	6,3	4,7754	30
0,758	4,75	3,6005	60
0,758	3	2,274	300
0,758	2	1,516	1800

Tabla 42. Soporte térmico de transformador de 10 KVA.

Capacidad de soportar sobrecarga			
In	N veces la corriente	corriente en A	Tiempo en h
0,758	2,02	1,53116	1h
0,758	1,74	1,31892	2h
0,758	1,5	1,137	4h
0,758	1,33	1,00814	8h
0,758	1,16	0,87928	24h

Tabla 43. capacidad de sobrecarga transformador de 10 KVA.

Capacidad de soportar corriente INRUSH			
In	N veces la corriente	Corriente en A	Tiempo en s
0,758	25	18,95	0,01
0,758	12	9,096	0,1
0,758	6	4,548	1
0,758	3	2,274	10

Tabla 44. Corriente Inrush transformador de 10 KVA.

Se introducen las características nominales del transformador monofásico como nivel de tensión, tipo de refrigeración, altitud, impedancia típica entre otros.

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.

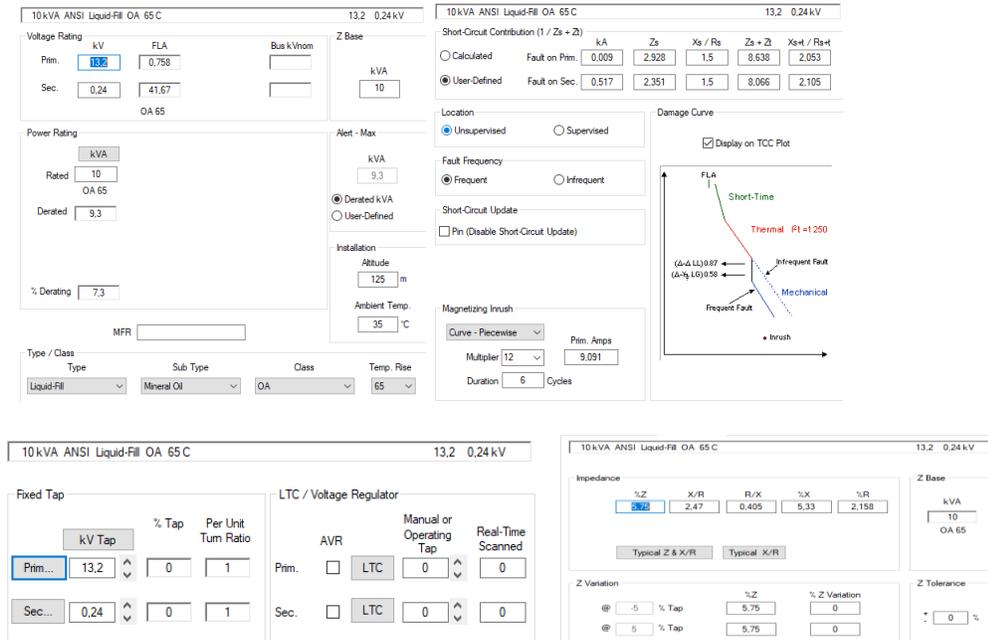


Figura 53. Parámetros ingresados para el transformador de 10 KVA. [7]

La curva de magnetización para una corriente de 12 veces la nominal, es de 9 A para un tiempo de 6 ciclos que equivalen a 0,1 segundos a una frecuencia de 60 HZ, según la tabla 44 el valor corresponde a uno de los puntos de la curva indicando que los valores ingresados corresponden a la tabla 44.

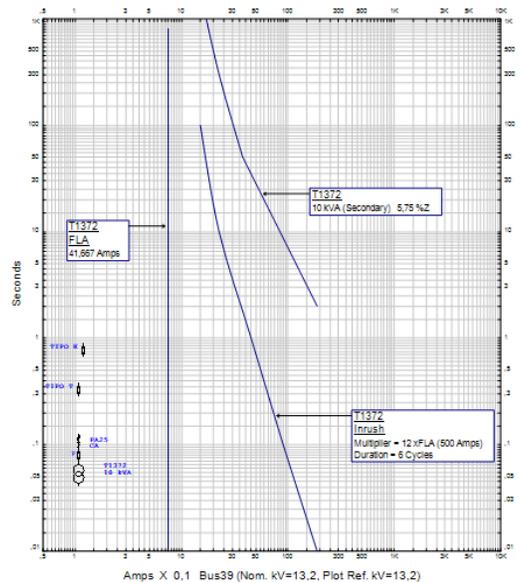


Figura 54. Curva de destrucción de transformador con curva de energización. [7]

la corriente nominal para el transformador de 10 KVA según la ecuación 10.

$$I_{nominal} = \frac{10KVA}{13200} \quad (10)$$

$$I_{nominal} = 0,758 A \quad (11)$$

Teniendo la corriente se elige un fusible con $I_n \geq 0,758 A$. según los valores normalizados de tipo H, K, T y se considera la implementación del tipo dual por sus características para la protección de transformadores.

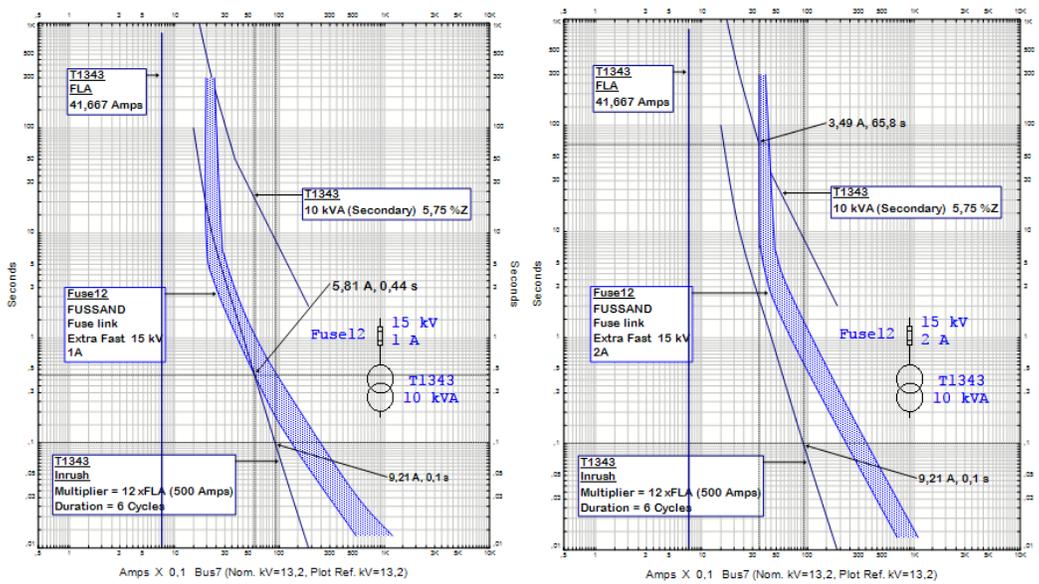


Figura 55. Selección de fusible tipo H. [7]

En figura 55, se puede apreciar que el fusible de un amperio se funde para una corriente de 5,81 A desconectando el transformador para un tiempo de 0,44 segundos al energizar el transformador si logra pasar la corriente de 0,1 segundos, pero si se selecciona un fusible mayor de 2 A, corta la curva de capacidad sobrecarga a los 65,8 segundos que corresponde a una corriente de 3,49A, esto implica que el transformador no queda protegido contra corrientes menores a 3,49 A y un tiempo superior a 65,8 s para una sobrecarga.

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.

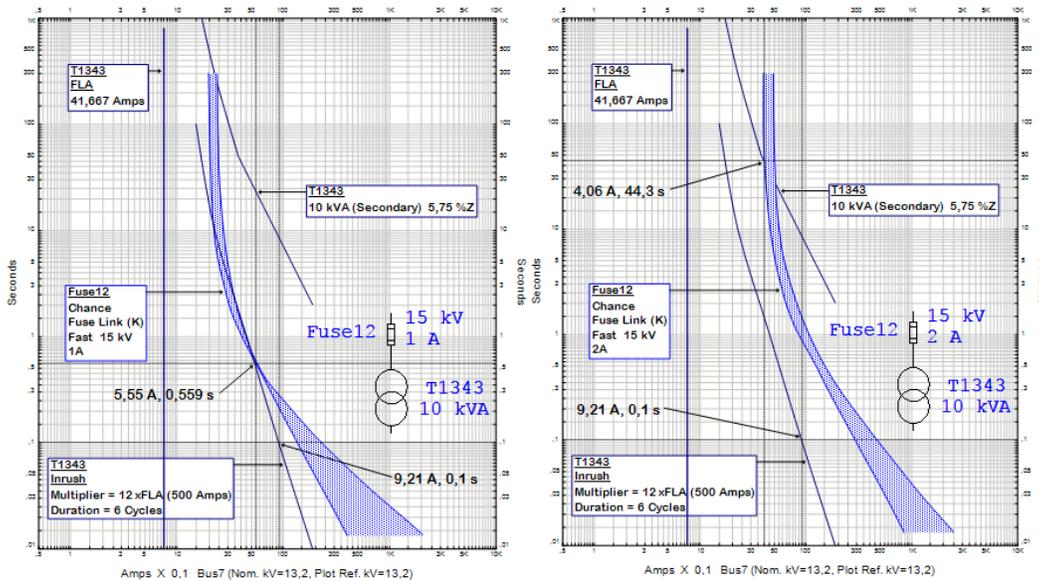


Figura 56. Selección de fusible tipo K. [7]

El fusible tipo k tiene el mismo comportamiento que el fusible tipo H, se funde para una corriente de 5,55 A desconectando el transformador para un tiempo de 0,6 segundos, protege el transformador, pero interrumpe el funcionamiento del trafo si se llega a ese valor de corriente. Se selecciona uno mayor pero corta la curva de capacidad térmica dejando desprotegido el trafo para corrientes menores a 4 A con duración mayor a 44 s.

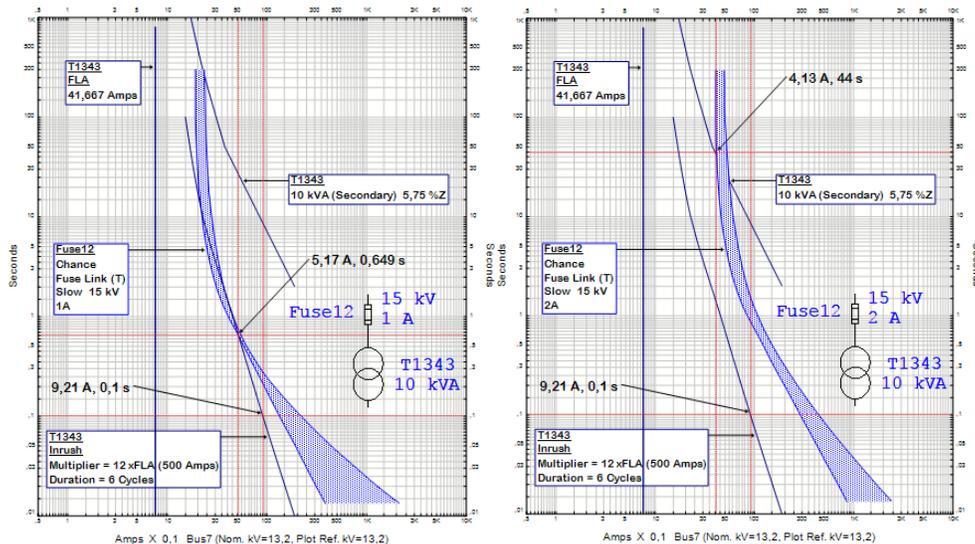


Figura 57. Selección fusible tipo T. [7]

El fusible de un 1 A tipo T se funde cuando se energiza el transformador en un tiempo 0,649 s, este es el que mejor protege del tipo T, pero puede fundirse al conectarse el transformador. Se pasa a

seleccionar un fusible de 2 A, pero esta corta la curva de capacidad térmica desprotegiendo el transformador para corrientes menores a 4.13 A.

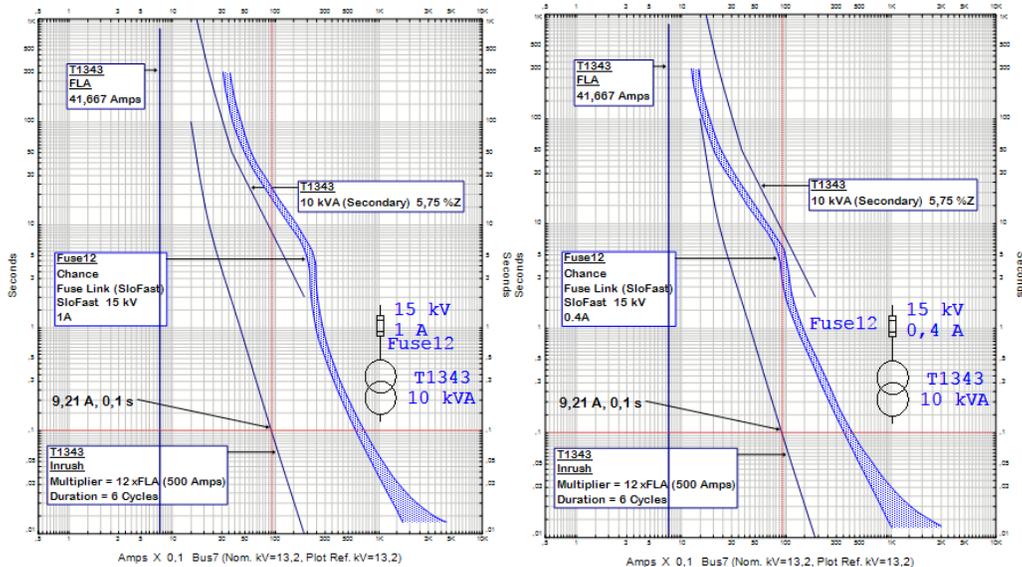


Figura 58. Figura 55. Selección fusible tipo DUAL. [7]

Para el fusible tipo dual se selecciona uno de 1 A el cual debido a sus características y su relación de velocidad no protege el transformador para este valor de corriente nominal dejándolo libre a posibles daños en una sobrecarga o cortocircuito, el paso a seguir fue realizar un desplazamiento de la curva a un valor de 0,4 A nominales para el fusible tipo dual obteniendo el fusible más óptimo para la protección del transformador quedando al lado derecho de la curva de magnetización y al lado izquierdo de la curva de daño del transformador.

Gracias a sus características el fusible tipo dual es el que mejor protege a los transformadores, pero analizando el beneficio costo y sabiendo que los fusibles seleccionados para los transformadores existentes tipo H permiten un funcionamiento adecuado ya que permiten energizar el transformador sin exceder los 0,1 s de la corriente de energización y protegiendo el transformador contra daño térmico que es uno de los eventos más posible a ocurrir y no tanto por sobrecarga ya que en los transformadores rurales el consumo es reducido.

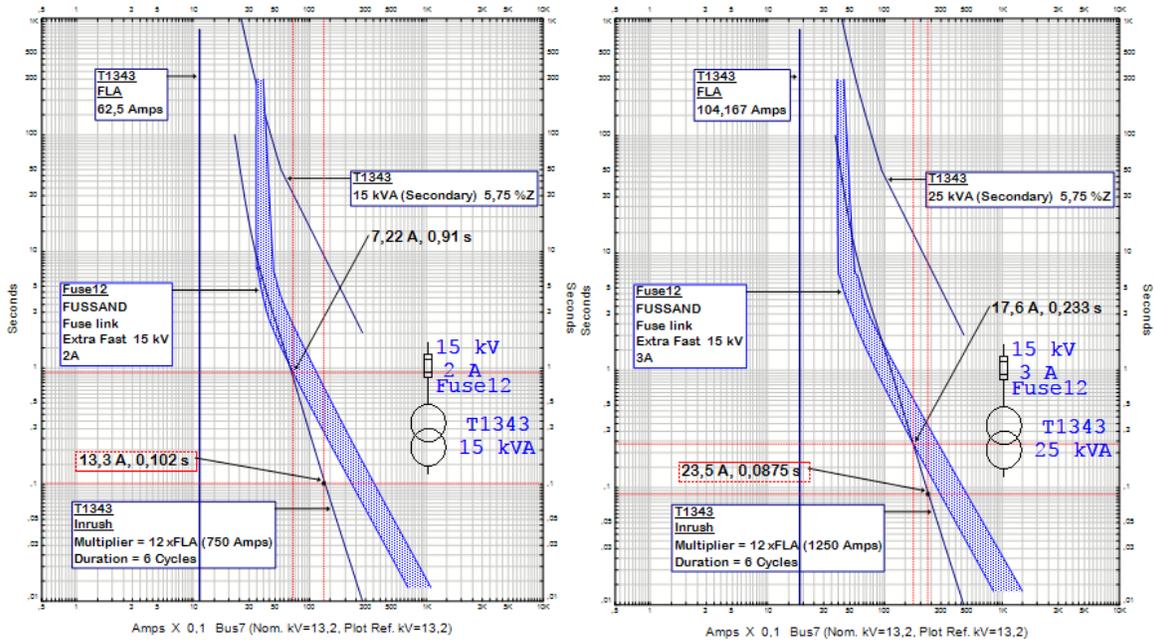


Figura 59. Fusibles seleccionados para los transformadores de 15 KVA y 25 KVA. [7]

Realizando el mismo procedimiento para los transformadores de 15 KVA y 25 KVA se obtuvieron los resultados descritos en la figura 59. Protegiendo de manera óptima los transformadores a través del fusible tipo H con características de fusión rápida, lo cuales permiten el funcionamiento sin desconectar el transformador al energizar y evitando daños del mismo sin reducir la vida útil del transformador al sufrir sobrecargas y o cortocircuito. Los valores descritos en la tabla 45 son el resultado de la selección de los fusibles, estos serán ingresados en el software ETAP para la respectiva simulación.

Potencia nominal KVA	Nivel de tensión KV	I nominal A	Fusible seleccionado	Tipo
10	13,2	0,758	1 A	H
15	13,2	1,136	2 A	H
25	13,2	1,894	3 A	H

Tabla 45. Fusibles seleccionados para la protección de los transformadores monofásicos.

Para los transformadores trifásicos se tendrá en cuenta los criterios de la NTC 2797 para lograr la protección óptima del transformador, se determina la corriente nominal del transformador según la ecuación 12, para todos los transformadores existentes trifásicos obteniendo los resultados de la tabla 46.



Figura 60. Transformador trifásico de 30 KVA.

$$I_{\text{primario}} = \frac{S_{\text{trafo}}}{\sqrt{3} * VL} \quad (12)$$

$$I_{\text{primario}} = \frac{30 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 13200} \quad (13)$$

$$I_{\text{primario}} = 1,312 \text{ A} \quad (14)$$

Potencia nominal KVA	Nivel de tensión KV	I nominal A
30	13,2	1,312
45	13,2	1,968
37,5	13,2	1,640

Tabla 46. Corrientes nominales para transformadores trifásicos.

Se ingresan los valores nominales del transformador de 30 KVA al software como se observa en las figuras 47 y 48, para su simulación y se grafican los valores de la curva de destrucción como sobrecarga, daño térmico y corriente de energización.



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.

The screenshot displays three panels of a software interface for configuring a 30 kVA transformer. The left panel shows general information like ID (11332), primary/secondary buses (Bus17, 13.2 kV), and standards (ANSI/IEC). The middle panel details voltage ratings (13.2 kV primary, 13.2 kV secondary), power ratings (30 kVA), and connection details (3-phase shell). The right panel shows impedance data (positive, zero, and Z variation) and Z base values.

Tabla 47. Valores ingresados del transformador de 30 KVA. [7]

This screenshot shows the protection and damage curve settings for the transformer. It includes sections for Short Circuit Contribution (1 / Zs + Z2), Location (Unsupervised/Supervised), Fault Frequency (Frequent/Infrequent), and a detailed Damage Curve plot. The plot shows curves for Thermal (PI=1250), Mechanical, and Inrush, with specific parameters for FLA, Short-Time, and Inrush.

Tabla 48. Valores ingresados del transformador de 30 KVA. [7]

Los valores de daño termino, sobrecarga y corriente Inrush se describen en las tablas 49 a la 51.

Soporte térmico			
In	N veces la corriente	corriente en A	Tiempo en s
1,3	111,8	146,7	0,1
1,3	25,0	32,8	2,0
1,3	11,3	14,8	10,0
1,3	6,3	8,3	30,0
1,3	4,8	6,2	60,0
1,3	3,0	3,9	300,0
1,3	2,0	2,6	1800,0

Tabla 49. Soporte térmico transformador de 30 KVA.



Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz

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.

Capacidad de soportar sobrecarga			
In	N veces la corriente	corriente en A	Tiempo en h
1,3	2,0	2,7	1h
1,3	1,7	2,3	2h
1,3	1,5	2,0	4h
1,3	1,3	1,7	8h
1,3	1,2	1,5	24h

Tabla 50. Capacidad de sobrecarga transformador de 30 KVA.

Capacidad de soportar corriente INRUSH			
In	N veces la corriente	corriente en A	Tiempo en s
1,3	25,0	32,8	0,01
1,3	12,0	15,7	0,1
1,3	6,0	7,9	1,0
1,3	3,0	3,9	10,0

Tabla 51. Soporte corriente Inrush transformador de 30 KVA.

El valor del fusible debe ser con $In \geq 1.31$ A, descrito en la tabla 48. Entonces de los fusibles normalizados se elige un fusible de 2 A de tipo H, K, T y se considera la implementación del fusible dual por sus características.

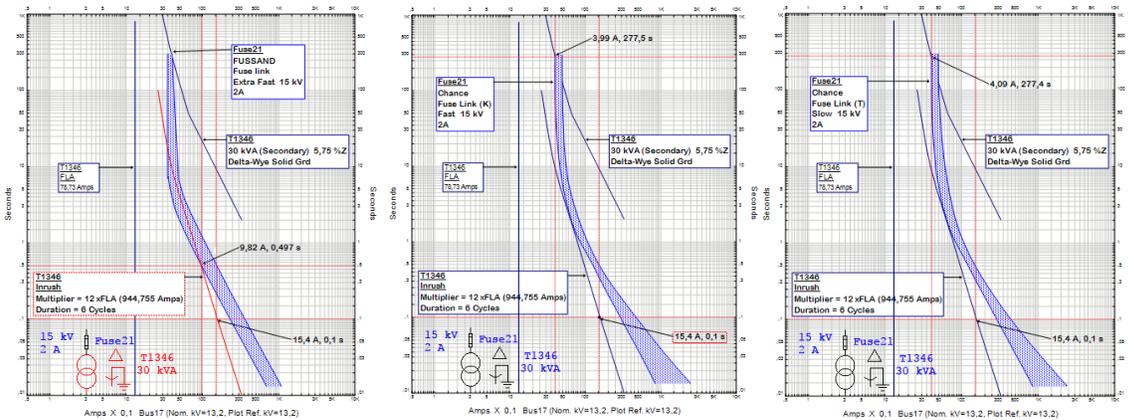


Figura 61. Prueba de fusibles tipo H, K, T de 2 A. [7]

Los fusibles seleccionados descritos en la figura 61. Permiten la conexión del transformador sin fundir el fusible según la NTC 2797 y como se observa no cortan la curva de energización para un tiempo de 0,1 s funcionando de forma adecuada, pero estos cortan la curva de sobrecarga para un valor de tiempo superior a 300 s lo indica pueden trabajar de forma correcta sin daño del transformador. Si se busca un fusible mayor este corta la curva de capacidad térmica desprotegiendo el transformador, buscando el fusible que explote todas las características nominales del transformador se procede a implementar, en la simulación el fusible tipo dual que da como resultado la protección más adecuada para el funcionamiento del transformador ya que no corta la curva de conexión y la de destrucción del transformador al quedar ubicada en el centro de ambas curvas.

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.

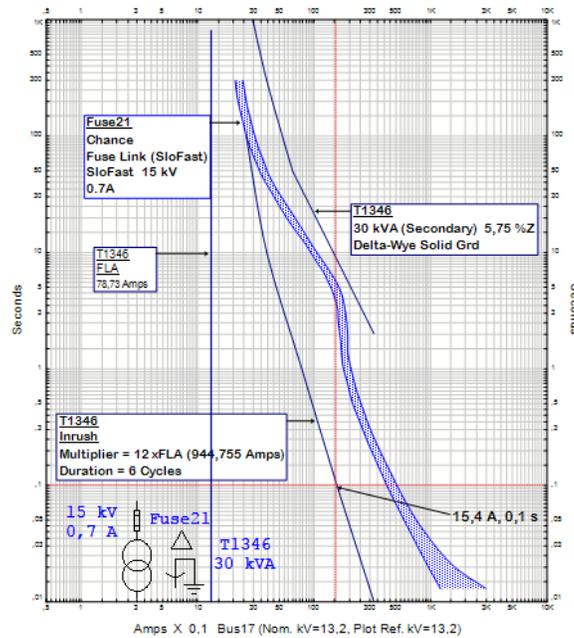


Figura 62. Fusible tipo dual de 0.6 A para transformador de 30 KVA. [7]

El fusible tipo dual protege el transformador de forma adecuada pero el costo por unidad se incrementa en comparación con el actual instalado de tal manera es necesario ajustar el fusible tipo H existente en la empresa de energía para una mejor condición de protección del transformador utilizando el criterio del 0,1 segundo de la corriente de energización. Se pueden seleccionar los fusibles tipo H para la protección de los transformadores como se vio en las figuras descritas anteriormente para los transformadores de 37,5 y 45 kVA.

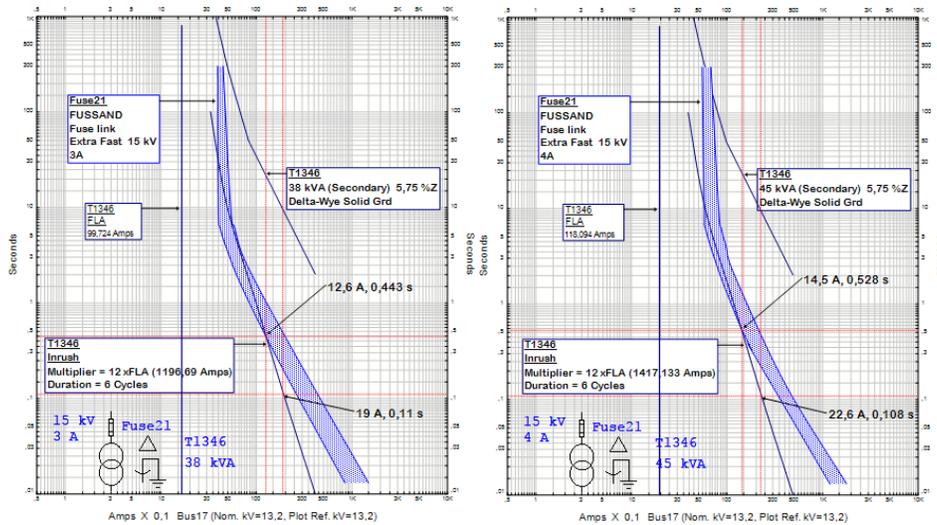


Figura 63. Fusibles seleccionados para los transformadores de 37,5 KVA y 45 KVA. [7]



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.

Potencia nominal KVA	Nivel de tensión KV	I nominal A	Fusible seleccionado	Tipo
30	13,2	1,312	2 A	H
37,5	13,2	1,640	3 A	H
45	13,2	1,968	4 A	H

Figura 64. Fusibles seleccionados para protección de trafo 30, 37,5 y 45 KVA.

Los fusibles utilizados para la coordinación presentan distintas características de operación lo que permite seleccionar el más adecuado para un sistema, luego de realizar la simulación en el software etap es posible determinar que los fusible tipo H, T, K, pueden proteger el transformador, pero también pueden impedir el funcionamiento bajo condiciones especiales de operación en las que pueda llegar a el transformador. Uno de los fusibles que logro cumplir con la protección fue el fusible tipo dual o también llamado rápido lento que según su diseño protege al transformador de forma eficiente de sobrecarga y cortocircuitos, pero para la implementación entra a jugar un papel importante que sería el costo de estos ya que los existente logran funcionar de forma conforme a los requerimientos por lo tanto no se plantea un cambio debido a que las características extra rápidas brindan un despeje de cualquier evento de forma rápida como se vio anteriormente.

VI. FLUJO DE CARGA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

El sistema en el cual se realizará el estudio de coordinación esta parametrizado con las características constructivas que lo conforman en terreno, SPARD facilita el proceso de cálculo del flujo de carga ya que los parámetros existentes son reales lo que generara resultados muy cercanos al funcionamiento del sistema instalado. El flujo de carga permitirá obtener los valores de tensión y corrientes nominales de operación, para así poder tener en consideración las condiciones en las que operará el fusible. Aportando datos necesarios para la selección del fusible de forma adecuada.

II.22 Características Generales.

- Modelación de la red de Media y Baja Tensión.
- Representación Geográfica de la Red.
- Digitalización de Mapas, con el programa autocad.dxf.
- Mapa Base (Cartografía): Mapas parciales y Layers.
- Actualización y Consulta gráfica de datos y resultados de aplicación de la red.
- Poderoso generador de Reportes SQL, reportes en tabla, por área, gráfico, salida por impresora, archivo texto, dbf.
- Disponibilidad de diferentes versiones con diferentes aplicaciones. [20]

II.23 Descripción y parametrización del software Spard Distribution.

Spard Distribution es una herramienta computacional con características idóneas para en el análisis de sistemas eléctricos permitiendo desarrollar numerosas aplicaciones como análisis, optimización y gestión de sistemas de distribución eléctrica. Literalmente el software cubre la información de toda la red de media tensión desde la subestación hasta los usuarios finales.

es un Sistema de Información Geográfico (GIS) para el diseño, análisis y administración de redes de distribución al nivel de media y baja tensión, por lo que se considera una herramienta poderosa para planeación y soporte de la operación de redes. [20]

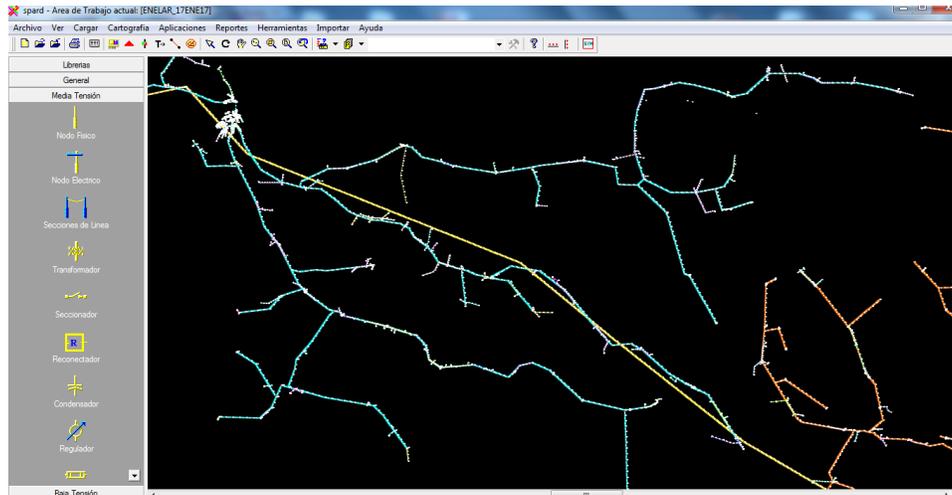


Figura 65. Interfaz del software Spard Distribution. [21]

Este software es el implementado por la empresa de energía de Arauca Enelar Esp para desarrollar los estudios de cortocircuito, análisis de carga, ubicación de usuarios, estructuras y seccionadores, además de análisis de sensibilidad para expansión de carga. Tiene una interfaz fácil de manejar permite la asignación de parámetros a conductores, transformadores y seccionadores.

El software maneja una nomenclatura para nodos eléctricos, nodos físicos, seccionadores y transformadores que permiten la fácil ubicación de las características de los elementos por ejemplo para los nodos eléctricos se maneja MVEL y un numero de referencia para un punto en específico como se observa en la figura 66.

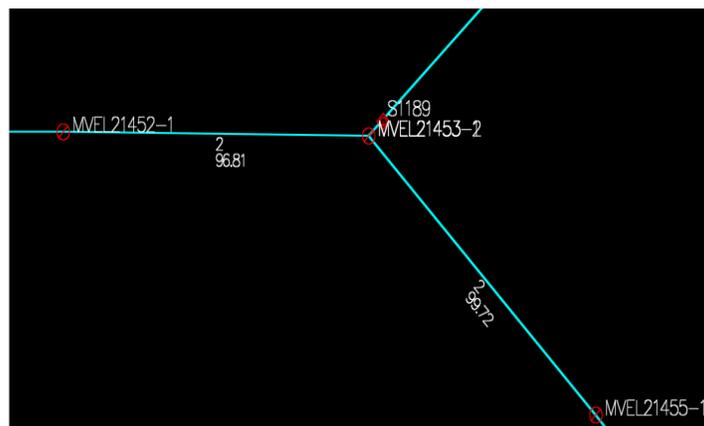


Figura 66. Nodo eléctrico seccionador S1189. [21]

El menú general del software permite realizar configuraciones de del área de trabajo, subestación, barras de distribución alimentador y zonas de alimentación. Si se selecciona una de estos se puede adicionar, inspeccionar o eliminar elementos existentes.

La subestación se puede configurar para realizar las simulaciones de forma acorde al transformador y a la carga instalada en el sistema. al igual que la subestación los otros elementos también pueden ser configurados o cambiados ya sea un transformador o una sección de línea para baja tensión o media tensión.

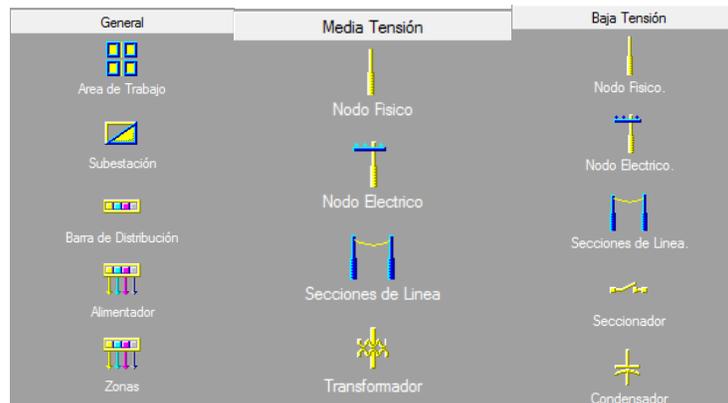


Figura 67. Menú general software SPARD. [21]

Para realizar el flujo de carga sera necesario seguir lo indicado en los siguientes numerales para obtener todos los datos necesarios del sistema.

1.1.23 Configuración topológica.

El simulador de la red de media tensión y baja tensión, extrae la información contenida en la base de datos y modela un circuito, bien sea en condición real o simulada, ordenando su topología de acuerdo al flujo de potencia desde un punto en específico.

Para cada uno de los alimentadores o transformadores el programa recorre los nodos identificando ordenadamente los elementos que están interconectados.

Para realizar este proceso seleccionamos dentro del menú de aplicaciones la configuración topológica y no llevara a la siguiente interfaz descrita en la figura.

Seleccionamos el alimentador AQ0102 en el cual se realizará la configuración, seguido daremos clic en iniciar y se realizará el proceso.

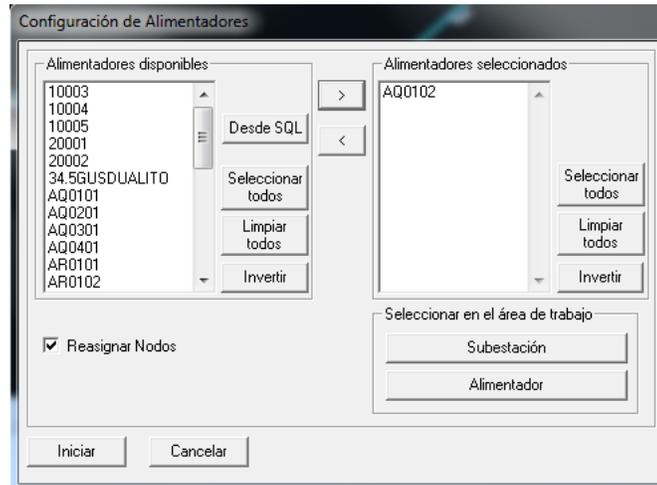


Figura 68. Configuración de alimentados para la asignación topológica. [21]

1.1.24 Configuración de la subestación.

Para desarrollar el flujo de carga es necesario configurar la subestación en relación al transformador existente para realizar la simulación de la forma más real posible y obtener resultados veraces del sistema.

Es necesario dirigirnos a la configuración general y seleccionamos configurar subestación en donde se ingresarán los datos necesarios como se observa en la figura 69. Es necesario determinar la potencia activa y reactiva y la capacidad instalada que tendrá el transformador.

Para el transformador de la subestación del municipio de Arauquita con ayuda de los datos de placa de la tabla 19. Se calcula los parámetros necesarios para ingresar al simulador considerando una máxima carga del transformador que sería de 6.25 MVA, por medio de las siguientes ecuaciones.

Nivel de tensión nominal es de 13.2 kilovoltios nominales a un factor de potencia de 0,9. la potencia activa se determina a partir de la ecuación 21.

$$P_{activa\ max} = S_{max} * 0,9 \quad (15)$$

$$P_{activa\ max} = 6,25\ MVA * 0,9 \quad (16)$$

$$P_{activa\ max} = 5,625\ MW \quad (17)$$

Si tenemos la potencia activa máxima y la potencia aparente podemos determinar la potencia reactiva máxima que puede entregar el transformador según la ecuación 24.

$$Q_{max} = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (18)$$

$$Q_{max} = \sqrt{(6,25)^2 - (5,625)^2} \quad (19)$$

$$Q_{max} = 2,72 \text{ Mvar} \quad (20)$$

Se ingresan los valores calculados para la subestación como se observa en la figura 65 a demás se asume una potencia instalada 2 MVA para simular en el peor de los casos.

Figura 69. Configuración de la subestación. [21]

1.1.25 Asignación de carga.

La aplicación que calcula el flujo de carga exige que los nodos tengan carga asignada en todos los transformadores de acuerdo a unos criterios de asignación de carga para este proceso es necesario tener consigo las lecturas porque es importante realizar la modelación con datos reales y actualizados de esta manera se puede realizar un diagnóstico acerca del estado de operación actual del sistema. Es por esto que SPARD nos da la opción de ingresar valores medidos del alimentador para ejecutar la simulación.

Para obtener los datos medidos en el alimentador se hace necesario solicitar los datos al centro de control desde el mes de enero hasta el mes de septiembre para seleccionar los valores pico y simular en condiciones máximas el alimentador.

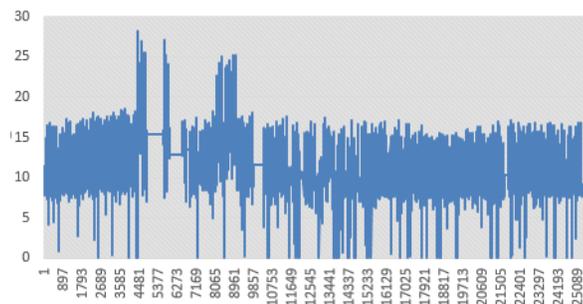


Figura 70. Corriente IA del alimentador AQ0102.

**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.**

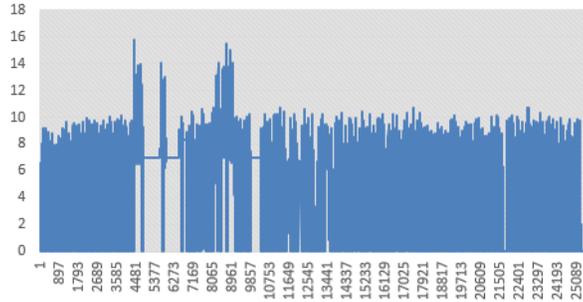


Figura 71. Corriente IB del alimentador AQ0102.

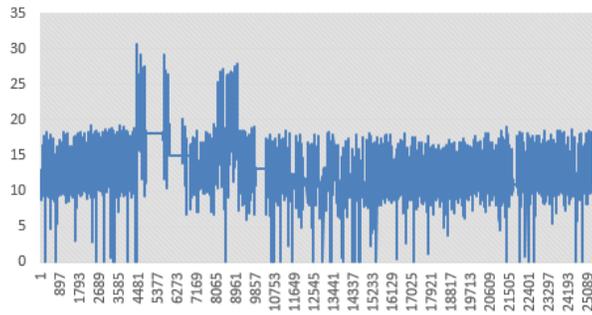


Figura 72. Corriente IC del alimentador AQ0102.

En la figura 70 a la 72 se observan las gráficas de la corriente medida en el intervalo del mes de enero a septiembre se puede apreciar que en el mes de febrero se presentan los picos de consumo en los cuales trabajo el sistema con los siguientes valores corriente.

IA	IB	IC
28 A	16 A	31 A

Tabla 52. Valores de corriente medidos.

Los valores de potencia activa y reactiva se observan en la figura 73 y 74 respectivamente presentando variación en el intervalo de tiempo medido de enero a septiembre dando una potencia activa pico en el mes de febrero de 518,688 KW y potencia reactiva de 118,476 KVAR los cuales serán ingresados a el SPARD.

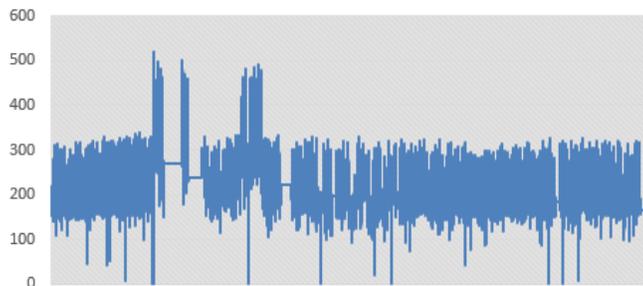


Figura 73. Potencia activa consumida de enero a septiembre.

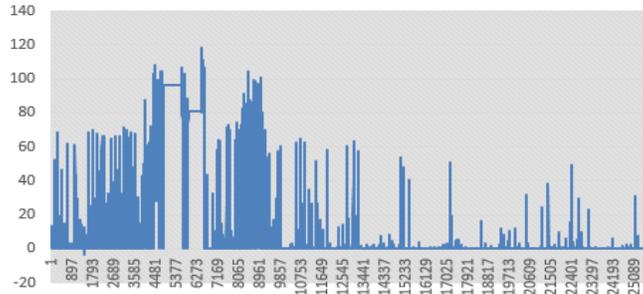


Figura 74. Potencia reactiva consumida de enero a septiembre.

Con los valores correspondientes a las medidas realizadas en el alimentador se ejecuta el ingreso de los datos y el programa distribuye las potencias y las corrientes en cada una de las fases del sistema trifásico de forma balanceada. De las corrientes medidas en las tres fases se ingresa la corriente más elevada de 31 el programa las distribuye a cada una de las fases como se observa en la figura 75.

Una vez ingresados los valores de las lecturas se puede realizar el proceso de asignación

Lectura de Alimentadores			
Alimentador	AQ0102		
Fecha	12/11/2017	21:47:09	
Voltaje	13.2	(kV)	
Potencia	518.68833	(kW)	118.47666 (kVAr)
Energía	518.68833	(kWh)	118.47666 (kVArh)
Corriente	31	(Amp)	
Factor de potencia	0.9	(p.u.)	
Lectura por fases			
	Fase A	Fase B	Fase C
Voltaje	7.621023553303C	7.621023553303C	7.621023553303C (kV)
Potencia Activa	172.89611	172.89611	172.89611 (kW)
Potencia Reactiva	39.49222	39.49222	39.49222 (kVAr)
Energía Activa	172.89611	172.89611	172.89611 (kWh)
Energía Reactiva	39.49222	39.49222	39.49222 (kVArh)
Corriente	31	31	31 (Amp)
Factor de potencia	0.9	0.9	0.9 (p.u.)
Aceptar Cancelar			

Figura 75. Lecturas del alimentador en el software SPARD. [21]

Una vez ingresados las lecturas del alimentador se realiza la asignación de carga para el alimentador AQ0102 seleccionando el método de asignación descritos en la figura 76.

- **Proporcional a la capacidad de los transformadores:** La carga de cada nodo es proporcional a la capacidad del transformador o transformadores conectados al nodo.

- **Proporcionalmente a la capacidad de los transformadores:** En esta opción se distribuye la lectura de potencia del circuito en la subestación desconectando las pérdidas de acuerdo a la capacidad de transformación instalada en los nodos.
- **Ajustar las lecturas de acuerdo a los consumos facturados:** En esta opción se suman en cada transformador de distribución los consumos de energía de los usuarios alimentados. Se suman a si todos los consumos del circuito y se proratea la lectura del circuito de forma tal que un transformador en que sus usuarios han consumido el doble que otros, tendrá el doble de carga. Como conclusión la suma de las cargas así asignadas más las perdidas darán la lectura en la subestación.

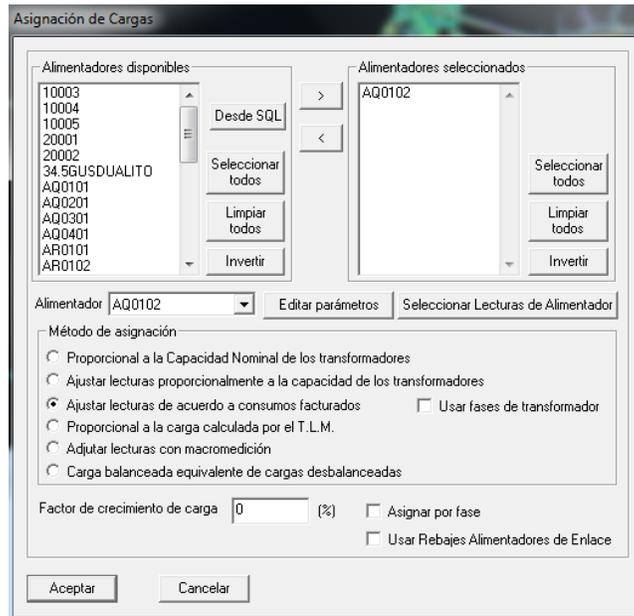


Figura 76. Asignación de carga alimentador AQ0102. [21]

Se correrá un flujo de carga para dos opciones una proporcional a la capacidad de los transformadores y otra a través del ajuste de las lecturas de acuerdo a los consumos facturados para tener un panorama de cómo se comporta el sistema y seleccionar el valor idóneo.

1.1.26 Flujo de carga.

Spard Distribution para correr flujos de carga en media tensión, tiene en cuenta la sumatoria de cargas y pérdidas de distribución del sistema, obteniendo las tensiones en los nodos que se encuentran en la red, así mismo se tienen en cuenta las lecturas medidas en el alimentador. Spard permite correr un flujo de carga radial balanceado y un flujo de carga por fase.

- **Flujo de carga radial balanceado:** Esta aplicación calcula los voltajes en los nodos, las corrientes y flujos de potencia en las secciones, las pérdidas en cada sección y en el circuito total para un alimentador, utiliza las cargas determinadas por el programa de asignación de cargas o utiliza las cargas calculadas por el programa de manejo de carga de transformadores para cada transformador.

- **Flujo de carga por fase:** A diferencia del flujo de carga radial balanceado, este programa tiene en cuenta las fases de conexión de los transformadores de distribución y el faseo de la topología del circuito. Se calculan los voltajes en los nodos en cada fase, las corrientes, flujos y pérdidas por fase en cada sección.

El flujo a desarrollar será radial balanceado para los dos tipos de asignación de carga, por lo tanto, seleccionamos el alimentador AQ0102 y generamos el reporte, así como se observa en la figura 77,

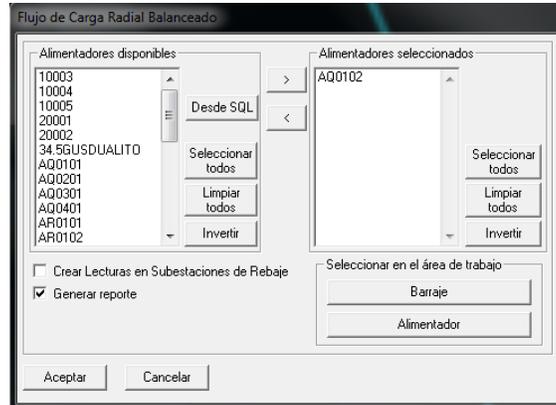


Figura 77. Flujo de carga alimentador AQ0102. [21]

Una vez generado el flujo de carga es necesario realizar una búsqueda dentro del reporte de los seccionadores para obtener los datos característicos de operación en el cual se encuentran trabajando los seccionadores existentes. Las tablas 53 y 54 contienen los datos generados por el software SPARD en el cual los datos de interés son el nivel de tensión, corriente de operación además de la potencia activa y reactiva.

FLUJO DE CARGA PROPORCIONAL A LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR			Carga del nodo			Carga a través de la sección			voltaje	
Seccionador	Distancia	Conductor	% cargado	Kw	KVAR	KW	KVAR	AMP	Regulacion	KV
RAMAL 1										
S0463	32.00	2	15.21	0.00	0.00	560.15	270.95	27.37	5.15	13.12
S1112	2.00	2	6.08	0.00	0.00	221.24	107.13	10.94	6.38	12.97
S1740	2.00	2	0.25	0.00	0.00	9.00	4.36	0.45	6.65	12.94
S2106	2.00	2	0.62	0.00	0.00	22.50	10.90	1.12	6.72	12.93
RAMAL 2										
S0464	118.80	2	6.79	0.00	0.00	248.13	119.94	12.22	5.95	13.03
S1188	1.00	2	0.50	0.00	0.00	18.00	8.72	0.89	6.87	12.91
S1189	1.00	2	3.81	0.00	0.00	137.50	66.59	6.85	7.23	12.87
S1190	121.70	2	2.44	0.00	0.00	87.91	42.57	4.38	7.29	12.86
S0343	90.00	2	0.87	0.00	0.00	31.50	15.26	1.57	7.30	12.86

Tabla 53. Flujo de carga radial balanceado proporcional a la capacidad de los transformadores.

Se realizaron dos flujos de carga para considerar los datos de operación máxima y mínima del sistema para brindar un panorama más claro al momento de la selección de los valores nominales de operación de los equipos de protección.

La tabla 54 muestra valores de corriente inferiores en comparación del flujo de carga proporcional a la capacidad de los transformadores debido a que el consumo real es inferior por lo que se toman en

consideración los valores de operación de los seccionadores para este consumo ya que se acerca de forma acertada al funcionamiento real.

FLUJO DE CARGA PROPORCIONAL A LECTURAS DE CONSUMO			Carga del nodo			Carga a través de la sección			voltaje	
Seccionador	Distancia	Conductor	% cargado	Kw	KVAR	KW	KVAR	AMP	Regulacion	KV
RAMAL 1										
S0463	32.00	2	2.02	0.00	0.00	83.94	18.99	3.64	1.02	13.22
S1112	2.00	2	0.95	0.00	0.00	39.26	8.87	1.70	1.17	12.97
S1740	2.00	2	0.04	0.00	0.00	1.50	0.34	0.06	1.21	12.94
S2106	2.00	2	0.04	0.00	0.00	1.60	0.36	0.07	1.22	12.93
RAMAL 2										
S0464	118.80	2	0.82	0.00	0.00	34.02	7.69	1.48	1.11	13.03
S1188	1.00	2	0.03	0.00	0.00	1.13	0.26	0.05	1.21	12.91
S1189	1.00	2	0.35	0.00	0.00	14.42	3.26	0.63	1.24	12.87
S1190	121.70	2	0.27	0.00	0.00	11.26	2.54	0.49	1.25	12.86
S0343	90.00	2	0.05	0.00	0.00	1.87	0.42	0.08	1.25	12.86

Tabla 54. Flujo de carga radial balanceado proporcional a las lecturas de consumo.

VII. SIMULACIÓN DEL SISTEMA BAJO CONDICIONES DE CORTOCIRCUITO.

El sistema de distribución con arranque en el seccionador S0463 será parametrizado en el software ETAP POWERING SUCCESS ya que por sus características permite la selección y ajuste de elementos de protección. A demás ETAP ofrece a los usuarios un módulo de cortocircuito completamente amigable para el usuario en el que puede realizar numerosos análisis en varios puntos del sistema de manera simultánea, permitiendo realizar la selección de la normativa con la cual se ejecutarán los cálculos de cortocircuito (ANSI, IEC, GOST), adicionalmente ETAP tiene la posibilidad de verificar la capacidad de cortocircuito que tienen los diferentes elementos del sistema de acuerdo con la selección de equipos realizada por el Usuario.

II.24 Descripción y parametrización del software ETAP POWERING SUCCESS.

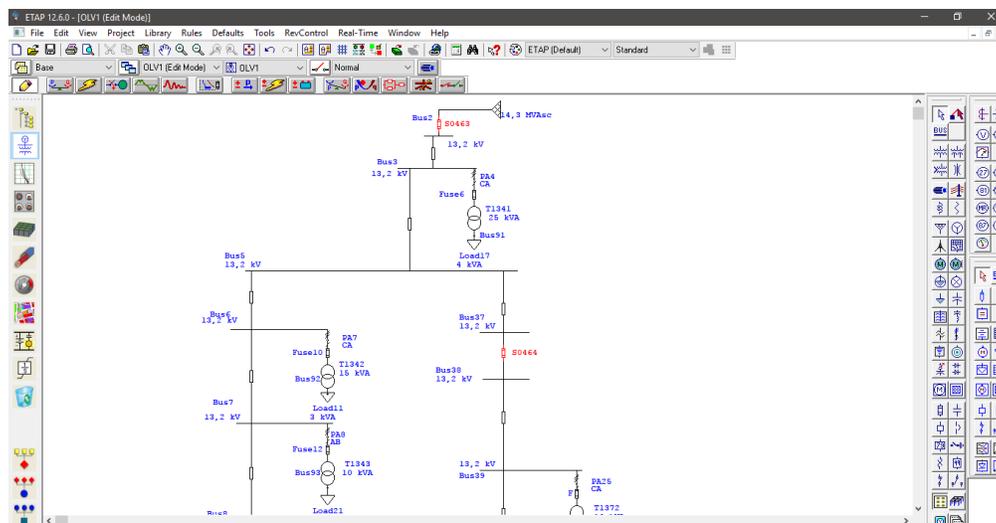


Figura 78. Interfaz de software ETAP. [7]

La red de distribución es parametrizada en el software para obtener un análisis de cortocircuito que permitirá obtener parámetros necesarios para la selección de dispositivos de protección para los ramales y derivaciones del sistema de alimentación del distrito 8. ETAP permite la construcción del diagrama unifilar con las condiciones que se encuentran en terreno gracias a sus características de diseño.

El diagrama unifilar realizado del sistema de distribución tomando como guía el diagrama de figura 31, que permite obtener las distancias del conductor, ubicación y capacidad de los transformadores de distribución, se realiza de forma tal que se ingresen los datos de todos los transformadores y distancias de conductores de manera más precisa. Los transformadores monofásicos son conectados por medio de un acople al sistema trifásico del ramal principal permitiendo elegir el orden de conexión de las fases, valor de los buses de conexión son cambiados por los valores de tensión de servicio.

1.1.27 Construcción del diagrama unifilar.

1.1.27.1 Red de alimentación.

Para la simulación del circuito de alimentación con arranque en el seccionador S0463, es necesario implementar la herramienta de ETAP que permite suministrar energía a un tramo red, permitiendo la configuración de esta de tal manera que se ajuste a las condiciones en las que se encuentra operando el sistema como se muestra en la figura 79.

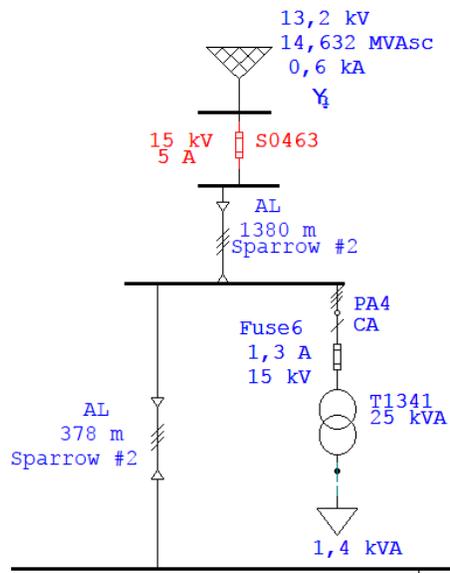


Figura 79. Red de alimentación para distrito 8. [7]

Los datos de importancia para la configuración del sistema son, la potencia de cortocircuito en el arranque del circuito, la relación X/R, el aporte de la red a la corriente de cortocircuito.

La información inicial que debe ingresarse esta descrita en la figura 80, donde debe ingresarse el tipo de sistema si es monofásico o trifásico según sea el caso, para el caso de estudio es un sistema trifásico en el que debe ingresarse las condiciones de servicio, si se encuentra o no en operación.

The screenshot shows the 'Info' tab of the 'Power Grid Editor - U3' software. The system is identified as '13.2 kV Swing'. Key parameters include:

- ID: U3
- Bus: Bus151 (13.2 kV)
- Connection: 3 Phase (selected)
- Equipment Tag #: 1
- Name: AQ0102
- Description: Red rural municipio de Arauquita
- Mode: Swing (selected)
- Service: In (selected)
- State: As-built

Figura 80. Información inicial red de alimentación. [7]

Para los datos nominales se ingresan el nivel de tensión de la conexión, si se desea simular el sistema de forma balanceada o desbalanceada según decida el ingeniero encargado de tomar los criterios pertinentes. En relación al proyecto se tomará un nivel de tensión de 13,2 KV nominales para una simulación balanceada. Las características de un sistema balanceado en comparación con sistema desbalanceado hay diferentes consideraciones a tener en cuenta debido al comportamiento del sistema de distribución.

The screenshot shows the 'Rating' tab of the 'Power Grid Editor - U3' software. The system is classified as '13.2 kV Swing'. The 'Rated kV' is set to 13.2, and the system is configured as 'Balanced'. Below this is a table with 10 rows representing different generator categories and their operating parameters.

Gen. Cat	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Gmax	Gmin
1 Design	100	0					
2 Normal	100	0					
3 Shutdown	100	0					
4 Emergency	100	0					
5 Standby	100	0					
6 Startup	100	0					
7 Accident	100	0					
8 Summer Load	100	0					
9 Winter Load	100	0					
10 Gen Cat 10	100	0					

Operating parameters are shown below the table:

%V	Vangle	MW	Mvar
100	0	0,076	0,014

Figura 81. Información de clasificación del sistema. [7]

Los datos de operación son tomados del ultimo flujo de carga o pueden ser ingresados por el usuario según sean las cualidades con las que quiera simular. Tomando los datos del último flujo de carga realizado en el software Etap se obtienen los valores potencia activa y reactiva de operación que serían 0,076 MW Y 0,014 Mvar respectivamente que coinciden de forma cercana a los valores del flujo de carga realizado el software Spard indicando que le funcionamiento se acerca al del sistema de distribución.

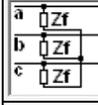
	<p>Falla trifásica.</p> <p>0,640 KA</p>
	<p>Falla monofásica.</p> <p>0,4 KA</p>

Tabla 55. Corrientes de falla punto de arranque.

Los datos de cortocircuito son entregados por la empresa de energía en corrientes de cortocircuito es necesario determinar la potencia cortocircuito trifásica y monofásica utilizando el método de las potencias equivalentes del sistema de distribución descrito en el numera 1.1.4.4. utilizando la ecuación 21 se calcula la potencia de cortocircuito trifásica, para una corriente de cortocircuito trifásica 0,640 KA en el arranque del sistema se calcula la potencia de cortocircuito.

$$Mvacc = \sqrt{3} * Icc * Vl \quad (21)$$

$$Mvacc = \sqrt{3} * 0,640 \text{ kA} * 13,2 \text{ Kv} \quad (22)$$

$$Mvacc = 14,632 \text{ MvA} \quad (23)$$

Para la potencia de cortocircuito monofásica se determina a través de la ecuación 24 con los valores de corriente falla monofásica suministrada por la empresa de 0,4 KA para una tensión de fase de 7,63 Kv.

$$Mvacc = Icc * Vl \quad (24)$$

$$Mvacc = 0,4 \text{ kA} * 7,63 \text{ kV} \quad (25)$$

$$Mva = 3,052 \text{ A} \quad (26)$$

Se ingresa la potencia de cortocircuito del arranque para el circuito y de inmediato el software ingresa la potencia de cortocircuito para una fase, pero esta es ingresada según la ecuación 26. La relación X/R es otro de los valores que usamos para el estudio de cortocircuito, dicho valor depende de la configuración de nuestra red, este dato no fue suministrado por la empresa de energía de tal modo, es necesario buscar una relación típica dependiendo del sistema, para la cual se selecciona un valor de relación de 15 que se asocia a redes de distribución desde transformadores alejados del sistema, el

software con estos valores calcula una impedancia de cortocircuito con el cual se realizaran las simulaciones de las fallas.

SC Rating				SC Impedance (100 MVA)		
	MVA _{sc}	MVA _{sc}	X/R	kA _{sc}	% R	% X
3-Phase	14,3		15	0,625	46,5168	697,752
1-Phase	9,156	3,052	15	0,4	46,5168	697,752
sqrt(3)V _{ll} If				V _{ll} If		
					Zero	124,919
						1873,78

Figura 82. Datos de cortocircuito. [7]

1.1.27.2 Conexión de transformadores monofásicos.

El software permite elegir entre dos tipos de transformadores ya sea monofásico o trifásico, en el caso de los monofásicos es necesario utilizar un acople que realizase la conexión de las fases del transformador seleccionando a que fase del sistema trifásico se desea conectar. Los transformadores existentes del distrito 8 fueron conectados como se encuentra en terreno para que sea lo más similar posible al sistema real.



Figura 83. Vista de conexión transformador monofásico.

1.1.27.3 Conductor de media tensión.

El conductor existente debe ser ingresado o seleccionado con las características similares del conductor instalado, según la tabla 56, del RETIE, se describen las cualidades de los conductores de aluminio con alma de acero.

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.

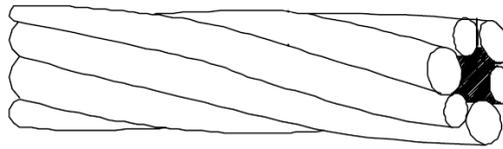


Figura 84. Conductor de aluminio con alma de acero 6/1. [22]

Calibre		Cableado	Area Nominal del Aluminio (mm ²)	R _{NCC} 20 °C (Ω/km)	Carga mínima de rotura (kN)	Calibre		Cableado	Area Nominal del Aluminio (mm ²)	R _{NCC} 20 °C (Ω/km)	Carga mínima de rotura (kN)
kcmil	A W G					kcmil	A W G				
795		24/7	402.83	0.0717	124	133.1	2/0	6/1	67.44	0.424	23.6
795		36/1	402.83	0.0713	74.7	110.8		12/7	56.14	0.514	50.3
715.5		30/19	362.55	0.0798	154	105.6	1/0	6/1	53.51	0.534	19.5
715.5		26/7	362.55	0.0797	126	101.8		12/7	51.58	0.560	46.3
715.5		24/7	362.55	0.0797	113	83.69	1	6/1	42.41	0.674	15.8
666.6		26/7	337.77	0.0855	117	80		8/1	40.54	0.709	23.1
666.6		24/7	337.77	0.0855	105	66.36	2	7/1	33.63	0.850	16.2
636		30/19	322.27	0.0898	140	66.36	2	6/1	33.63	0.850	12.7
636		30/7	322.27	0.0898	135	41.74	4	7/1	21.15	1.35	10.5
636		26/7	322.27	0.0896	112	41.74	4	6/1	21.15	1.35	8.27
636		24/7	322.27	0.0896	100	33.09	5	6/1	16.77	1.70	6.63
636		36/1	322.27	0.0892	61.4	26.24	6	6/1	13.30	2.15	5.29

Tabla 56. Requisitos particulares para cables de aluminio con refuerzo de acero ACSR. [23]

Considerando los valores de la tabla 56 extraída del RETIE, se busca en la librería un conductor de calibre numero 2 o 66,36 Kcmil de estándar 6/1, para ser ingresado a la simulación de software etap. El conductor que cumple con el calibre en un EPRI/SLAYER sparrow #2 de estándar 6/1 a frecuencia de 60 Hz. Una vez ingresado el conductor es necesario asignar las distancias existentes a cada tramo de red.

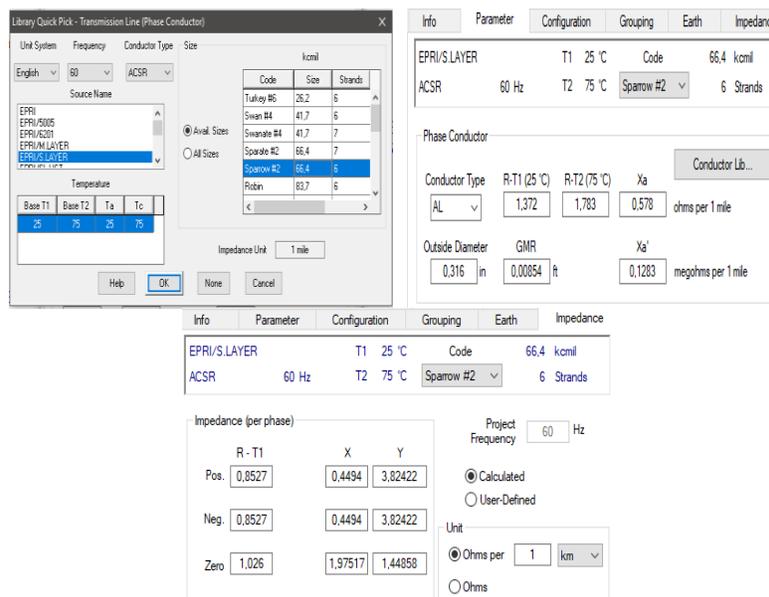


Figura 85. Librería de líneas de transmisión y parámetros de conductor. [7]

Los datos conocidos del conductor se muestran en la figura 86, La configuración de los conductores de aluminio es horizontal con una altura de 12 metros y espacio entre conductores de 0,4 m entre AB y 0,4 m entre BC dando una distancia entre CA de 0,8 m entre las fases.

Figura 86. Configuración de conductor trifásico. [7]

1.1.27.4 Asignación de carga para transformadores.

La carga asociada para cada transformador es determinada a partir de la potencia extraída del flujo de carga proporcional a las lecturas facturadas por usuarios de la tabla 54, cada seccionador operara a una corriente a un nivel de tensión diferente al igual que la potencia del sistema que atraviesa por él, conociendo la potencia que circula por el seccionador se puede asignar esta potencia de manera equilibrada a cada uno de los transformadores aguas abajo descartando la potencia de los ramales laterales, ya que la potencia que circulara por los seccionadores es pequeña y conocida por que solo se tiene un seccionador en ese sentido. La potencia que se va asignado se puede ir restando y se logra obtener la distribución de la carga. La metodología empleada tiene como objetivo asignar carga independiente de que consume o que tiene instalado el usuario en su instalación.

Solo se busca conocer la corriente nominal de operación de los seccionadores instalados para aplicar criterios de selección.

Loading Category	% Loading	kW	kvar	kV	Feeder Loss
1 Design	100	1,222	0,76	0	0
2 Normal	100	1,222	0,76	0	0
3 Brake	0	0	0	0	0
4 Winter Load	0	0	0	0	0
5 Summer Load	0	0	0	0	0
6 FL Reject	0	0	0	0	0
7 Emergency	0	0	0	0	0
8 Shutdown	0	0	0	0	0
9 Accident	0	0	0	0	0
10 Backup	0	0	0	0	0

Operating Load: 1,222 kW +j 0,616 kvar

Figura 87. Carga asignada transformador trifásico. [7]

El software calcula la potencia en vatios que consume la carga a un factor de potencia de 0,85 asignado por el usuario, una vez corrido un flujo de carga se muestra como está operando el sistema con los valores de potencia aparente en parte real e imaginaria.

1.1.27.5 Configuración para el análisis de cortocircuito.



Etap permite el análisis de cortocircuito para todos los casos posibles de fallas que afectan al sistema eléctrico, la configuración inicial del menú de cortocircuito como se observa en la figura 88, se pueden realizar distintos casos de cortocircuito con sus respectivos nombres dependiendo de que se quiera evaluar.

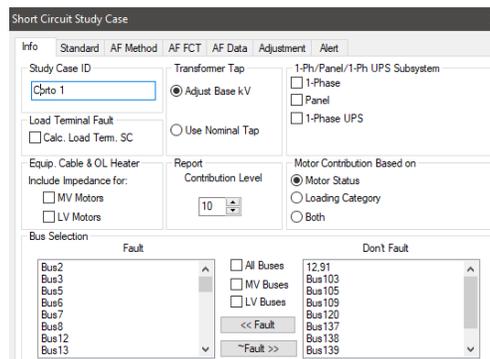


Figura 88. Información inicial para el análisis de cortocircuito. [7]

La selección de los buses de conexión que estarán en corto puede hacerse, uno a uno o todos a la vez de tal forma que es posible determinar para todos los casos de falla un resumen de eventos en todos los nodos del sistema parametrizado en el software. De los datos que aparecen en la figura 88, solo nos interesa darle nombre al estudio que se va a realizar y seleccionar el número de buses de conexión que estarán en falla.

Se pondrán en corto los buses relacionas a los seccionadores de tal manera podamos conocer los valores de cortocircuito únicamente para los seccionadores bajo estudio.

BUSES BAJO CORTOCIRCUITO			
RAMAL 1		RAMAL 2	
S0463	BUS 2	S0464	BUS37
S1112	BUS 12	S1188	BUS 45
S1740	BUS 18	S1189	BUS 53
S2106	BUS 22	S1190	BUS 61
		S0343	BUS 56

Tabla 57. Puntos de conexión de seccionadores.

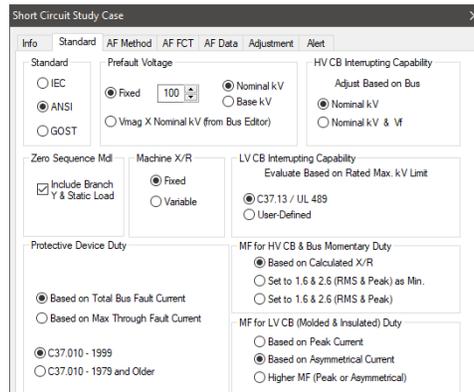


Figura 89. Selección de estándar y características de cortocircuito. [7]

Las opciones que aparecen en la figura 89, donde se encuentra el menú de configuración del tipo de estándar que se desea aplicar y las consideraciones según el diseñador quiera aplicar a dicho sistema. Se pueden tener en cuenta parámetros como impedancias de secuencia cero, indicadores de niveles de tensión para protecciones y voltajes de falla de los buses de conexión.

Para el caso de estudio se empleará el estándar ANSI para análisis de cortocircuito de los diferentes puntos descritos en la tabla 57. En la figura 90 se muestran los tipos de estudio que el usuario puede utilizar, se puede realizar estudio de cortocircuito trifásico y monofásico según sea el caso.



Figura 90. Tipos de estudio según estándar ANSI. [7]

Etap realiza un estudio de cortocircuito máximo para fallas como 3 fases, línea tierra, línea-línea y línea-línea a tierra para una duración de 1/2 ciclo, otra entre 1,5 a 4 ciclos y por ultimo un estudio de cortocircuito mínimo con duración de 30 ciclos.

El análisis se ejecutará para una duración de 1/2 ciclo que permita obtener los valores máximos de las corrientes de cortocircuito del sistema así que una vez parametrizado el sistema se puede ejecutar el estudio máximo de fallas en los nodos indicados dando como resultado las corrientes de las posibles fallas del sistema como se observa en la figura 91, etap nos dará los valores de corriente y tensión en el punto de falla acompañada por la corriente real e imaginaria de la falla.

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.

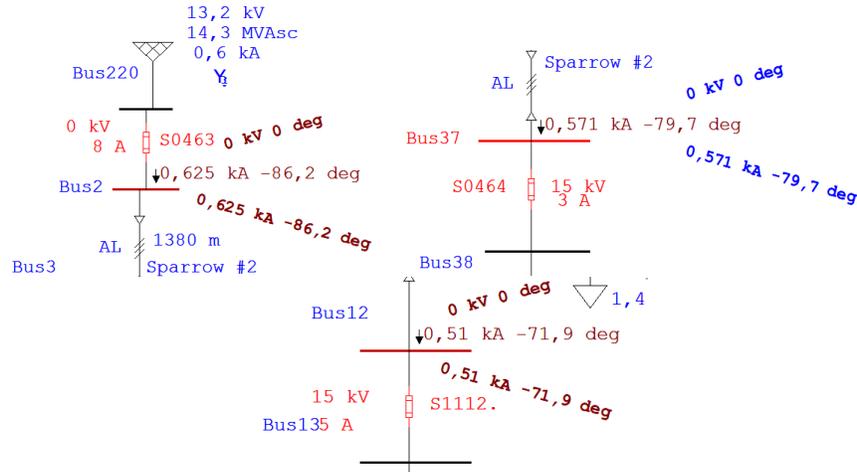


Figura 91. Valores de cortocircuito para seccionadores principales. [7]

Los resultados de todos los buses de conexión pueden ser revisados en el reporte de cortocircuito generado por etap descrito en la figura 92, donde se indica que corriente de falta presenta un valor más alto en comparación con los demás casos de falla para cual la falla de línea –línea a tierra presenta un valor más elevado de falla.

Proyecto:	ETAP	Página: 1
Ubicación:	12.6.0H	Fecha: 21-11-2017
Contrato:		SN:
Ingeniero:	Caso de Estudio: Corto 1	Revisión: Base
Nombre de Archivo: DIAGRAMAUNIFILAR		Config.: Normal

Informe Resumen de Cortocircuito

1/2 Ciclo - Corrientes de Falta Trifásica, LG, LL y LLG

Tensión pre-falta = 100 % de la Tensión nominal de Barra

Barra	ID	kV	Falta Trifásica			Falta Línea-a-Tierra			Falta Línea-a-Línea			*Línea-a-Línea-a-Tierra		
			Activa	Imag.	Mag.	Activa	Imag.	Mag.	Activa	Imag.	Mag.	Activa	Imag.	Mag.
Bus2		13.20	0.042	-0.624	0.625	0.027	-0.399	0.400	0.540	0.036	0.542	-0.550	0.111	0.561
Bus12		12.97	0.144	-0.507	0.527	0.064	-0.319	0.325	0.439	0.125	0.457	0.420	0.241	0.484
Bus18		12.94	0.161	-0.468	0.495	0.069	-0.292	0.300	0.405	0.140	0.428	0.385	0.245	0.457
Bus22		12.93	0.169	-0.452	0.482	0.071	-0.283	0.292	0.391	0.146	0.418	0.371	0.249	0.446
Bus37		13.03	0.102	-0.562	0.571	0.050	-0.354	0.358	0.486	0.089	0.494	0.471	0.218	0.519
Bus45		12.91	0.185	-0.421	0.459	0.077	-0.268	0.279	0.364	0.160	0.398	0.342	0.257	0.428
Bus53		11.87	0.182	-0.334	0.381	0.075	-0.218	0.231	0.289	0.158	0.330	0.268	0.237	0.358
Bus57		13.86	0.216	-0.355	0.416	0.089	-0.236	0.252	0.307	0.187	0.360	0.283	0.274	0.393
Bus61		12.86	0.200	-0.346	0.399	0.082	-0.228	0.242	0.299	0.173	0.346	0.276	0.256	0.377

Todas las corrientes de falta son valores momentáneos simétricos (Red Equivalente del 1/2 ciclo) en kA

* Corriente de falta LLG es la mayor de las corrientes de las dos líneas falladas.

Figura 92. Corrientes de falta para duración de 1/2 ciclo. [7]

Además, demás de las magnitudes de las corrientes de cortocircuito para cada falla se tendrán en cuenta las magnitudes de las corrientes de cortocircuito simétricas y asimétricas como se observa en la tabla 58.

Seccionador	Tensión nominal	Corriente nominal	Corriente nominal máx..	Corriente de cortocircuito simétrica trifásica	Corriente de cortocircuito asimétrica trifásica	Corriente de cortocircuito simétrica monofásica	Corriente de cortocircuito asimétrica monofásica
RAMAL 1							
S0463	13.66 KV	3,64 A	10,92	0,625 kA	0,952 kA	0,4 kA	0,609 kA
S1112	13.64 KV	1,7 A	5,1	0,527 kA	0,609 kA	0,326 kA	0,407 kA
S1740	13.64 KV	0,06 A	0,18	0,495 kA	0,548 kA	0,301 kA	0,363 kA
S2106	13.63 KV	0,07 A	0,21	0,482 kA	0,526 kA	0,292 kA	0,348 kA
RAMAL 2							
S0464	13.65 KV	1,48 A	4,44	0,571 kA	0,73 kA	0,358 kA	0,484 kA
S1188	13.64 KV	0,05 A	0,15	0,459 kA	0,498 kA	0,286 kA	0,329 kA
S1189	13.63 KV	0,63 A	1,89	0,381 kA	0,393 kA	0,231 kA	0,256 kA
S1190	13.63 KV	0,49 A	1,47	0,399 kA	0,413 kA	0,244 kA	0,269 kA
S0343	13.63 KV	0,08 A	0,24	0,397 kA	0,405 kA	0,241 kA	0,263 kA

Tabla 58. Resultado de análisis de cortocircuito.

Al observar la corriente de cortocircuito determinada por el software etap descrita en la tabla 58 se puede apreciar que, para un ejemplo de la corriente trifásica, la longitud del conductor influye en la magnitud de la corriente de cortocircuito, de tal forma que se ve reducida debido al incremento de la impedancia como se observa en la figura

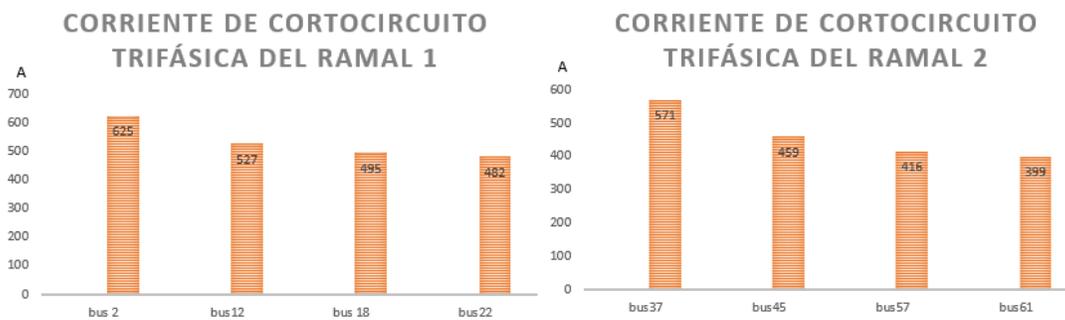


Figura 92. Corriente de cortocircuito trifásica según posición.

VIII. SELECCIÓN Y AJUSTE DE FUSIBLES PARA EL DISTRITO 8 DE LA EMPRESA ENELAR ESP.

II.25 Condiciones del sistema.

1.1.28 Consideraciones previas.

Se considera un fusible de 65 A tipo k para el cual se observa su curva t-i además de la corriente de cortocircuito asimétrica de 0,427 KA, ETAP permite graficar un margen con el valor de la corriente de cortocircuito que me indica la capacidad de interrupción que deberá soportar el elemento de protección, con esto se puede identificar las características de operación que deberá cumplir un equipo. Para el ejemplo del fusible de 65 A se visualiza un corte para una corriente de cortocircuito a partir de un valor de 475,1 A en un tiempo de 0,512 s lo que indica que el fusible para corrientes menores a 475,1 KA y valores de tiempo superior 0,512 s puede ser usado como protección ya que para estos valores según su curva tiempo corriente se fundiría protegiendo al equipo o sistema.

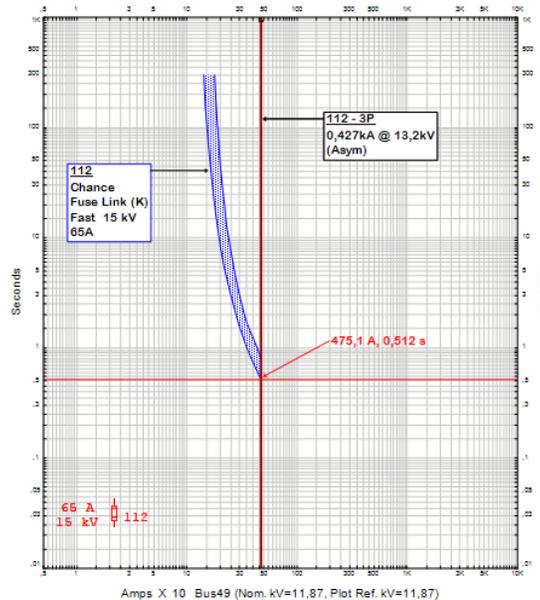


Figura 93. Curva t-i fusible 65 A tipo k. [7]

El fusible será capaz de soportar corrientes mayores a 475,1 A en un menor tiempo durante una falla con duración de 1/2 ciclo sin fundir el elemento del fusible.

1.1.29 Tipos de fallas.

Dentro de los tipos fallas conocidos se tienen un orden de incidencias en la cual la falla de línea a tierra asimétrica es la más frecuente como se observa en la tabla 59. Por tal motivo la falla con la cual se realizará la simulación para determinar si los fusibles coordinan entre ellos será la de línea a tierra con duración de medio ciclo establecido en el software ETAP.



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.

Tipo de falla	Clasificación	Porcentaje de ocurrencia	Causas más comunes
Unipolar a tierra o línea a tierra	Asimétrica	85,00%	- Contaminación. - Descargas atmosféricas. - Vientos y lluvias.
Bipolar sin contacto a tierra o línea a línea	Asimétrica	8,00%	- Ramas y animales.
Bipolar con contacto a tierra o línea-línea-tierra	Asimétrica	5,00%	- Ramas. - Errores humanas durante mantenimiento.
Triangular o trifásica	Simétrica	2,00%	- Errores humanos durante mantenimiento. - Caída de torres o de postes del tendido eléctrico. - Accidentes de tránsito.
Doble contacto a tierra	Asimétrica	>> 1,00%	- Una falla unipolar a tierra.

Fuentes: Chen (1994) y Tleis (2008).

Tabla 59. Clases de cortocircuito según su porcentaje de ocurrencia. [4]

1.1.30 Análisis inicial.

Los comportamientos de los fusibles actualmente instalados deben ser revisados ya que la conducta según el reporte de fallas de los meses cercanos descritos en la tabla 32 y 33, muestra un número de salidas muy elevado por cada mes lo que puede generar inconformidad a la comunidad ya que la confiabilidad del suministro eléctrico decrece debido al comportamiento inadecuado del sistema.

Por tal motivo se realizará la simulación de los fusibles instalados en los seccionamientos en el software ETAP de los ramales 1 y 2 definidos en la tabla 57, para determinar las condiciones del sistema y poder tener un panorama para realizar los ajustes correspondientes.

Fusibles instalados	fusible
Seccionador	S0463 6 A
	S1112 8 A
	S1740 4 A
	S2106 4 A
	S0464 12 A
	S1188 4 A
	S1189 20 A
	S0343 4 A
	S1190 30 A

Tabla 60. Fusibles instalados en la red de distribución actualmente.

Se ingresan los fusibles la software etap para observar el funcionamiento, según el esquema simplificado de la ubicación de los seccionadores, en la figura 96 y la tabla 57, se hace evidente que a simple vista que el seccionador 1190 con un valor de 30 A, no coordinara con el seccionador 1189 con valor de 20 A, siguiendo el circuito aguas arriba el seccionador 0464, se vería afectado por la falta de coordinación con el seccionador 1189 con valor de 20 A, el seccionador 0464 con valor de 12 A tampoco coordina con el seccionador principal de 6 A, lo que genera un resultado indeseado

sacando de servicio a todos los usuarios. Para el ramal 1 no hay coordinación entre 1112 y 0463. Logrando el mismo resultado del ramal 2.

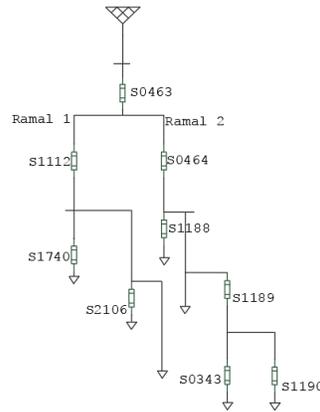


Figura 94. Ubicación de seccionadores existentes.

1.1.31 Análisis por medio del software ETAP.

1.1.31.1 Estado del ramal 2.

Para determinar si los fusibles coordinan por medio de sus curvas características de tiempo corriente se implementa la herramienta ETAP para dicho proceso. Se introduce una falla debajo del seccionador 1190 como se observa en la figura 95 y el fusible que se funde primero es el 1189 al producirse una corriente 0,235 KA con duración de 1/2 ciclo, que genera la apertura del seccionador 1189 dejando sir servicio a los usuarios conectados en 6 transformadores independientes a la zona de la falla por la falta de sectorización evidenciando el problema de la coordinación.

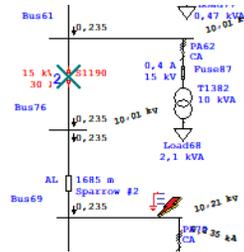


Figura 95. Secuencia de disparo del fusible. [7]

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)
94,0	S1189	0,249	27,6	94,0
190	S1190	0,249	61,5	190

Figura 96. Tiempo de despeje fusibles 1190 y 1189. [7]

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.

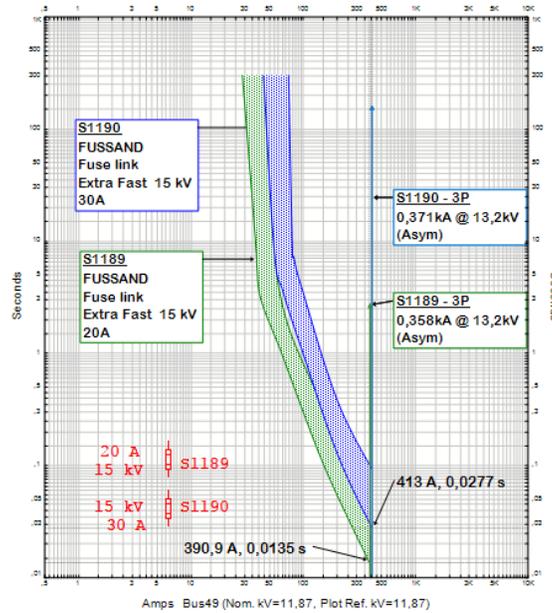


Figura 97. Curvas tiempo corriente y de cortocircuito seccionador 1190 y 1189. [7]

En la figura 96 se aprecia el tiempo en el que los fusibles del seccionador 1189 se funden realizando la apertura, para un tiempo de 0,0135 milisegundos. Desconectando el seccionador 0343 y 1190 para una corriente 358 A.

Una vez ingresada una falla en la línea de 13,2 kivolttios aguas abajo del seccionador 1189 los fusibles deberian coordinar con el seccionador 0464 y el principal 0343 pero ocurre lo contrario y se genera la desconexion de todos los usuarios, este caso se repite de forma mensual debido al caso particular mencionado en el numeral 11.15.

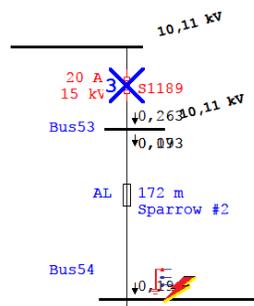


Figura 98. Ubicación de falla. [7]

Analizando las curvas tiempo corriente se puede observar en la figura 99 que el fusible de menor capacidad de 6 A se fundirá primero que el de 12 A y el fusible de 30 amperios solo se fundirá para valores de corriente de falla 0,371 kA para un tiempo de 0,0283 s bajo los efectos de una corriente transitoria, esto me indica que la secuencia se encuentra de forma equivocada por lo se hace necesario

el ajuste adecuado de los fusibles para el ramal 2 ya que el funcionamiento está generando inconformidad además del por qué están a si en un problema el cual es necesario solucionar.

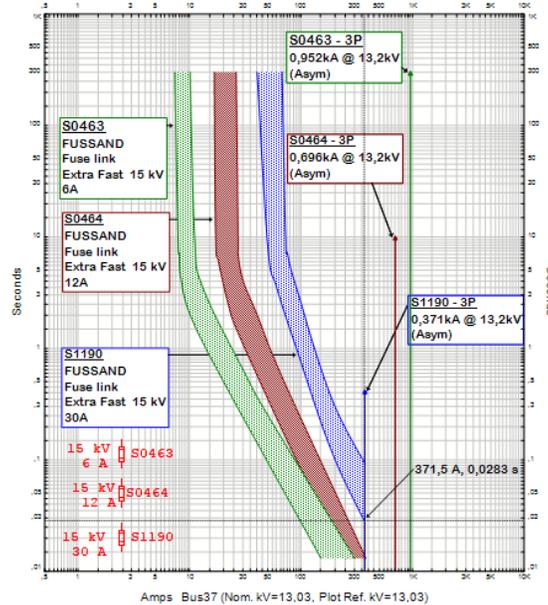


Figura 99. Curvas de corte seccionadores 0463, 0464 y 1189. [7]

1.1.31.2 Condiciones del ramal 1.

Según se observa en la figura 100 el fusible de 6 A se funde primero que el fusible de 8 A aguas arriba del seccionador 1112 que genera la apertura de todo el sistema.

Después ver el comportamiento de los fusibles atreves de su curva t-i se hace evidente el resultado descrito en el numeral 11.15 del reporte de fallas que se observan un número de salidas inusual en los seccionadores del arranque del circuito eléctrico por lo tanto en el siguiente numeral se realizara la coordinación adecuada de los fusibles contemplando los criterios necesarios para un funcionamiento óptimo en relación a los despejes de fallas.

Considerando los valores preferidos y no preferidos se están usando valores de corriente de dos categorías lo que reduce la coordinación en los fusibles además de mala selección con fin de generar el disparo del 0463 para evitar el desplazamiento a ultimo fusible del ramal.

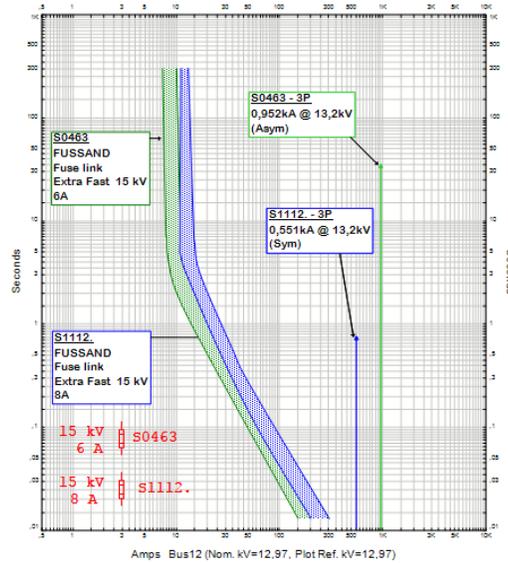


Figura 100. Curva t-i fusibles del seccionador 1112 y 0463. [7]

II.26 Coordinación y evaluación de fusibles a instalar.

Los criterios a emplear y tener en cuenta son las capacidades nominales de los fusibles, la capacidad de cortocircuito del sistema, el tiempo máximo de despeje debe ser ajustado al tiempo mínimo sin sobrepasar el 75 % de tiempo de fusión de los fusibles cercanos. Considerando estos aspectos se puede realizar una selección de un fusible según su tipo, de forma conveniente.

1.1.32 Información necesaria para la selección de fusibles.

La información que es necesaria para aplicar criterios de coordinación son las siguientes.

- Corriente nominal de los fusibles.
- Valores nominales normalizados según el fabricante y el tipo de fusible.
- Corriente de cortocircuito máxima del sistema.
- Temperatura ambiente de la instalación.
- Considerar los valores preferidos para la coordinación.
- Tensión nominal del sistema.
- Corriente nominal máxima del sistema.

Por medio del flujo de carga del sistema es posible determinar el perfil de tensión nominal del funcionamiento del sistema, además de la corriente nominal que se circula por un punto en específico de la red. De tal forma para la selección de fusibles es necesario el conocimiento de estos datos además de la capacidad de cortocircuito al cual estarán sujetos los fusibles.

Con respecto a lo conocido en los numeras del capitulo 6 y 7 se pueden extraer los datos necesarios para selección de los fusibles a instalar. Estos valores están descritos en la tabla 61, en la cual se expresa el nivel de tensión de servicio la corriente nominal y de cortocircuito.

Seccionador	Tensión nominal	Corriente nominal	Corriente nominal máx..	Corriente de cortocircuito simétrica trifásica	Corriente de cortocircuito asimétrica trifásica	Corriente de cortocircuito simétrica monofásica	Corriente de cortocircuito asimétrica monofásica
RAMAL 1							
S0463	13.66 KV	3,64 A	10,92	0,625 kA	0,952 kA	0,4 kA	0,609 kA
S1112	13.64 KV	1,7 A	5,1	0,527 kA	0,609 kA	0,326 kA	0,407 kA
S1740	13.64 KV	0,06 A	0,18	0,495 kA	0,548 kA	0,301 kA	0,363 kA
S2106	13.63 KV	0,07 A	0,21	0,482 kA	0,526 kA	0,292 kA	0,348 kA
RAMAL 2							
S0464	13.65 KV	1,48 A	4,44	0,571 kA	0,73 kA	0,358 kA	0,484 kA
S1188	13.64 KV	0,05 A	0,15	0,459 kA	0,498 kA	0,286 kA	0,329 kA
S1189	13.63 KV	0,63 A	1,89	0,381 kA	0,393 kA	0,231 kA	0,256 kA
S1190	13.63 KV	0,49 A	1,47	0,399 kA	0,413 kA	0,244 kA	0,269 kA
S0343	13.63 KV	0,08 A	0,24	0,397 kA	0,405 kA	0,241 kA	0,263 kA

Tabla 61. Valores nominales del sistema.

Como criterio inicial los fusibles se elegirán en base a la corriente nominal máxima del sistema definida en la tabla 59, la cual es calculada multiplicando la corriente nominal por 3 veces la misma para obtener un valor promedio de carga máxima del sistema y sobredimensionar la capacidad nominal de los fusibles para el peor de los casos. La corriente de cortocircuito extraída del análisis de cortocircuito fue calculada en el software ETAP para una duración de 1/2 ciclo en el sistema simulado en condiciones ideales de forma balanceada dando como resultado las magnitudes descritas en la tabla 61, que serán tenidas en cuenta para el análisis y la selección de los fusibles.

1.1.33 Factores de corrección para fusibles de expulsión.

Uno de los aspectos más importantes para la selección de un fusible es la temperatura ambiente debido a que sus curvas tiempo corriente fueron medidas por equipos a una temperatura de 25 °C por esto es necesario aplicar un factor a los valores de corriente de cada fusible según sea el caso y el material ya sea de estaño o plata. Según la figura 101.

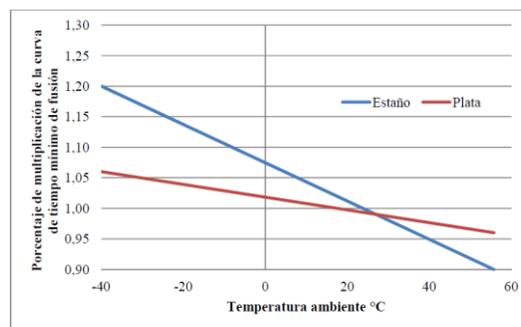


Figura 101. Factores para cambio en la temperatura ambiente de fusibles de enlace. [4]

Para una temperatura máxima de 40 grados centígrados para el peor de los casos ya que la temperatura promedio en el sitio de instalación oscila alrededor de 37 grados centígrados el factor según la figura 103 para material de estaño es de 0,95 el cual es necesario aplicarlo a todos los fusibles.

Una vez multiplicados todos los valores de corriente se observa un desplazamiento de la curva t-i hacia la izquierda como se observa en la figura 102. El desplazamiento es reducido por lo que no cera tenido en cuenta para el diseño de este proyecto.

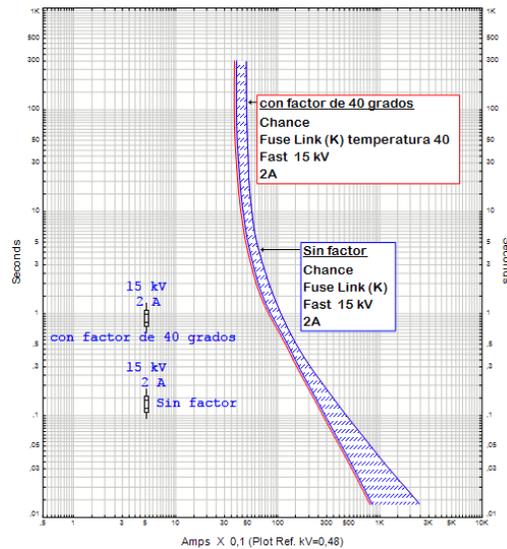


Figura 102. Curva t-i con factor de corrección y sin factor de corrección.

1.1.34 Características eléctricas de los cortacircuitos.

Los cortacircuito o portafusibles deberán cumplir con las descripciones de la norma ANSI C37-42 donde se describen las características de operación. Los cortacircuitos estarán montados en estructuras metálicas de acero galvanizado unidas por medio de una legueta metálica como se describe en la figura 103, en la cual se instalarán los fusibles universales montados en portafusibles de fibra de vidrio encargados de generar la distancia dieléctrica al momento en que se funde el fusible.

Los cortacircuitos son de tipo intercambiables permitiendo el cambio del fusible quemado por el operario de la empresa de energía. Las características eléctricas que deberá cumplir son las mismas descritas en el numeral 1.1.20.

- Tensión máxima del sistema 15 Kv.
- Intensidad continua asignada de 200 A
- Frecuencia de 60 Hz.
- Intensidad de corte simétrico de 10 KA.
- Línea de fuga superior a 21 cm metal- metal
- Nivel de asilamiento 95 Kv.
- Los eslabones fusibles serán de un nivel de tensión máximo de 15 Kv independiente de su tipo y su corriente nominal.

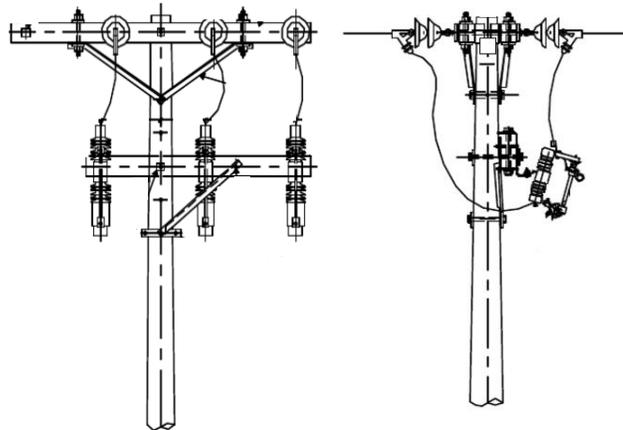


Figura 103. Estructura de montaje para seccionadores. [22]

1.1.35 Consideraciones previas.

Una regla esencial para aplicación de fusibles establece que el tiempo de despeje máximo del fusible de protección no excederá el 75% del tiempo de fusión mínimo del fusible protegido, lo que asegura que el fusible de protección despejará la falla antes de que el fusible protegido se dañe.

El factor del 75% compensa los efectos de las variables de operación.

Otra regla sostiene que la corriente de carga en el punto de aplicación no debe exceder la capacidad de corriente continua del fusible. La capacidad continua de corriente es aproximadamente 150% del valor nominal para fusibles T y K con elementos fusibles de estaño y aproximadamente 100% para fusibles H y N y fusibles K de plata. [6]

Se consideran tres categorías de fusibles

Categoría 1: Tamaños preferidos: 6 – 10 – 15 – 25 – 45 – 65 – 100 – 140 – 200 A.

Categoría 2: Tamaños no preferidos: 8 – 12 – 20 – 30 – 50 – 80 A.

Categoría 3: Por debajo de 6 Amperios: 1 – 2 – 3 – 5 A.

Si se mezclan fusibles adyacentes de categorías 1 y 2 se limita el rango de coordinación. [6]

1.1.36 Simulación y selección de fusibles existentes tipo H.

Para la corriente de operación de los seccionadores teniendo en cuenta que los fusibles normalizados de fussion son de 1 a 100 A se pasa a elegir el seccionador según el siguiente criterio.

$I_{nominal} \geq$ a la corriente del sistema a plena carga.

Este paso se hará inicialmente para ingresar los valores a ETAP de tal manera que se pueda iniciar la selección según su curva característica de tiempo de fusión mínimo y de despeje total verificando el

cumplimiento de criterio del 75 % para compensar los efectos de operación y garantizar la coordinación a pesar de variaciones en los valores de los fusibles.

Seccionador	Corriente nominal Máxima en A	Fusible seleccionador en A
RAMAL 1		
S0463	10,92	15 H
S1112	5,1	7 H
S1740	0,18	2 H
S2106	0,21	2 H
RAMAL 2		
S0464	4,44	7 H
S1188	0,15	2 H
S1189	1,89	5 H
S1190	1,47	3 H
S0343	0,24	2 H

Tabla 62. Valores iniciales seleccionados.

Según la figura 104 el seccionador 2106 con valor de corriente nominal de 2 A, deberá coordinar con el seccionador 1112 de 7 A que se encuentra aguas arriba de circuito, considerando que los fusibles de 1, 2, 3, 4, y 5 A, coordinan de forma adecuada con fusibles de valores superiores a 6 A, pero no se asegura la coordinación entre ellos. Al observar las curvas tiempo corriente de los fusibles instalados en los seccionadores 2106 y 1112 en la figura 104. Se puede observar que el fusible de 2 A coordina de forma favorable con el fusible de 7 A.

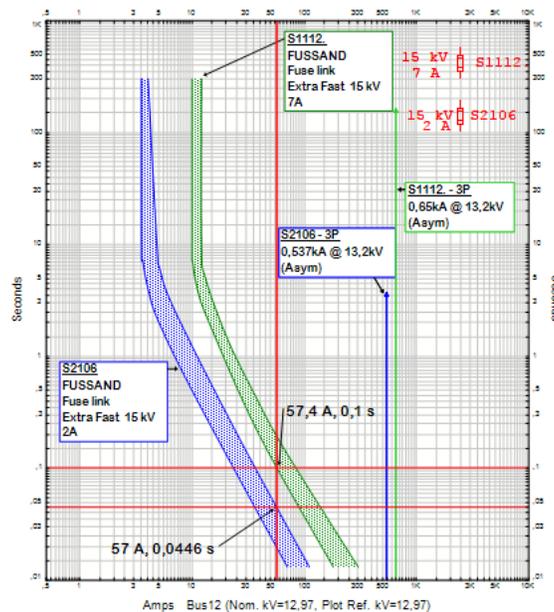


Figura 104. Coordinación entre seccionador 2106 y 1112. [7]



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.

La corriente de cortocircuito descrita en la figura 104 con coloración azul y verde corresponden a la corriente de falla presentada en cada seccionador en su punto de instalación esta corriente es la que debe soportar cada seccionador al momento de falla. Los fusibles se encuentran ubicados al lado izquierdo de la corriente indicando que estos se fundirán para valores de corriente inferiores a las de cortocircuito para un tiempo menor a 13 ms debido a sus valores nominales. Un criterio planteado es garantizar que la coordinación a partir de corriente mínima de fusión del fusible protegido para un tiempo de 0,1 segundos.

Para el fusible de 7 A se tiene una corriente 57,4 A de fusión mínima, se dibuja una línea que corta las dos curvas y se obtienen dos puntos de corte en el que se expresa los tiempos de despeje total del fusible de 2 A y el tiempo mínimo de fusión del fusible protegido de 7 A.

Según la figura 104 se extrae la información necesaria y se aplica la ecuación 5 descrita en el numeral 1.1.11.2.

Fusible	Tiempo en S	Descripción
2.0 A	0,0466	Fusible protector
7.0 A	0,1	Fusible protegido

$$\frac{0,0466}{0,171} \times 100 < 75\% \quad (27)$$

$$46\% < 75\% \quad (28)$$

El factor es menor al 75 % de tal forma que la selección de los valores nominales es adecuada para un funcionamiento coordinado. Para el caso del seccionador 1740 coordina de la misma manera que el 2106 con el seccionador 1112 ya que se manejan los mismos valores.

Siguiendo aguas arriba del ramal 1 se procede a verificar la coordinación entre el seccionador 1112 con el principal de 0463. Se ingresan los valores a ETAP y se observan las curvas descritas en la figura 105 donde el fusible de 15 amperios cumple de forma favorable como seccionador principal se determinan los tiempos para las curvas de despeje y de fusión mínima del fusible protegido para determinar si el tiempo de despeje no excede el 75 %.

Fusible	Tiempo en S	Descripción
2.0 A	0,0595	Fusible protector
7.0 A	0,101	Fusible protegido

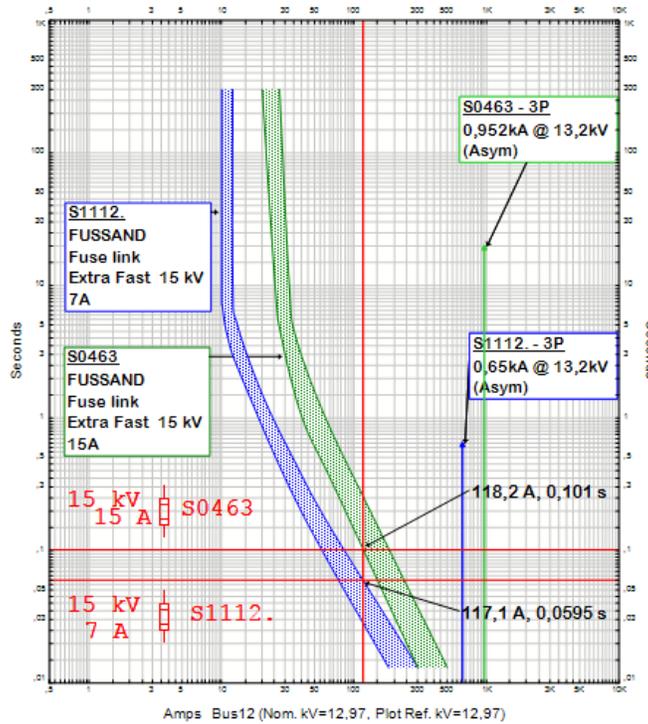


Figura 105. Coordinación entre seccionador 1112 y 0463. [7]

$$\frac{0,0595}{0,101} \times 100 < 75\% \quad (29)$$

$$58,9\% < 75\% \quad (30)$$

Por medio de la ecuación 29 se verifica que el fusible protector no excede el 75 % lo que indica que no será afectado el seccionador de 0463 pero se hace necesario relacionar este seccionador con los que están aguas abajo de este en el ramal 2 de tal manera que está sujeto a ser cambiado por otro valor mayor y no uno inferior ya que no coordinaría de forma adecuada con los fusibles del ramal 1.

Para el ramal 2 empezamos analizar la coordinación entre los seccionadores 1190 y 1189 que se encuentran aguas abajo de la línea de distribución. El seccionador 1190 con un valor de 3 A y el seccionador 1189 con 5 A. se realiza la simulación y al observar la curva t-i el fusible de 3 A cubre al de 5 A en su curva de fusión mínima, por lo tanto, se procede a seleccionar un fusible mayor para un valor de 7 A el cual coordina de forma adecuada analizando su curva característica para el seccionador 1189 y 0464 se reajusta el valor seleccionado ya que se presenta un solapamiento por tal motivo se selecciona uno de 15 A.

Al seleccionar el fusible 15 A es necesario ajustar el seccionador 0463 ya que este tiene un valor de 15 A y no coordinara con 0464 por lo que se cambia a un fusible 25 A.

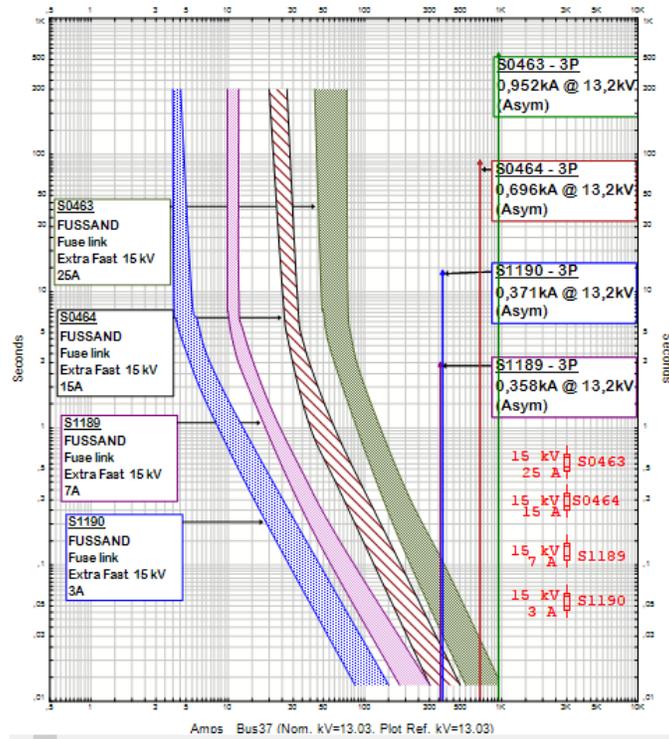


Figura 106. Coordinación entre seccionadores del ramal 2. [7]

En la figura 106 se puede observar como por medio del ajuste se logra crear una secuencia de disparo adecuada ya que ningún fusible cubre al fusible protegido en el tiempo mínimo de fusión lo que indica que ninguno de los fusibles protegidos será afectado por la falta de coordinación debido a que se efectuará el despeje de forma rápida sin producir calentamiento del fusible protegido.

El resultado de la coordinación del ramal luego de realizar el ajuste del fusible de 15 A del seccionador 0463 se observa en la figura 107 donde observamos que el seccionador 0463 con un valor mayor coordina de forma idónea con los dos ramales y sus respectivos valores nominales.

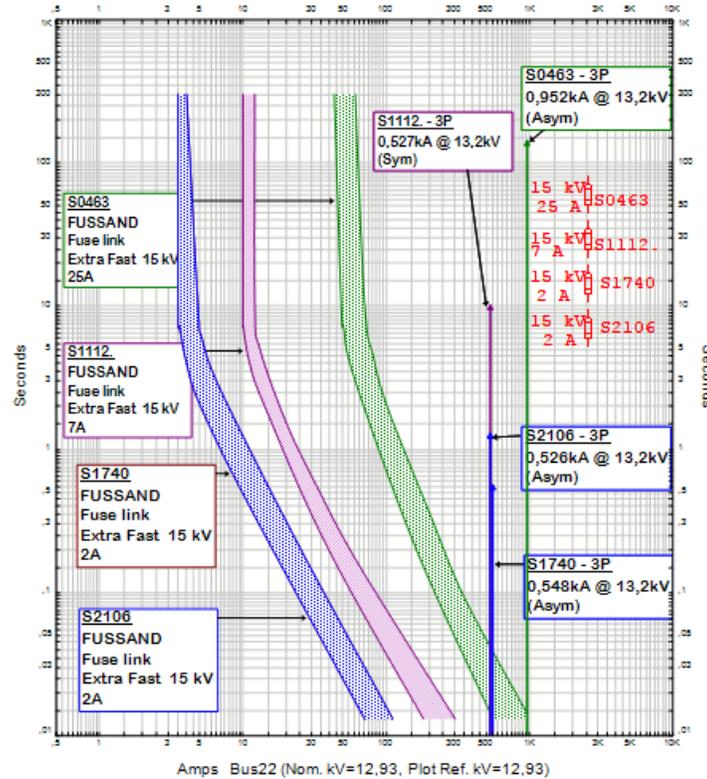


Figura 107. Coordinación de fusibles del ramal 1 ajustado al ramal 2. [7]

En la tabla se aprecian los valores seleccionados y ajustados según su curva t-i para realizar la protección del fusible 0463 que en este caso es el fusible protegido.

Seccionador	Corriente nominal máxima en A	Fusible seleccionado A	Fusible ajustado A
RAMAL 1			
S0463	10,92	12	25 H
S1112	5,1	7	7 H
S1740	0,18	2	2 H
S2106	0,21	2	2 H
RAMAL 2			
S0464	4,44	7	15 H
S1188	0,15	2	2 H
S1189	1,89	5	7 H
S1190	1,47	3	3 H
S0343	0,24	2	2 H

Tabla 63. Fusibles seleccionados y ajustados ramal 1 y 2.

1.1.37 Simulación y selección con fusibles tipo k.

Los fusibles tipo K Tienen la capacidad de soportar hasta 150 % de su corriente nominal sin dañar el fusible, teniendo esto en consideración se puede determinar las condiciones nominales del fusible a instalar. los valores nominales de la corriente del sistema y los fusibles tipo K seleccionados inicialmente se observan en la tabla 64, al igual que los fusibles tipo H el valor de la corriente nominal debe ser mayor o igual a la máxima corriente del sistema.

Seccionador	I nominal máxima en A	Fusible seleccionado tipo K
RAMAL 1		
S0463	14,56	15 k
S1112	6,8	8 k
S1740	0,24	2 k
S2106	0,28	2 k
RAMAL 2		
S0464	5,92	6 k
S1188	0,2	2 k
S1189	2,52	4 k
S1190	1,96	2 k
S0343	0,32	2 k

Tabla 64. Corriente nominal y fusible seleccionado para la coordinación.

Los fusibles ingresados según el numeral 1.1.15 son del fabricante Hubbell Incorporated el cual facilita las curvas tiempo corriente de los fusibles normalizados según su fabricación estos serán empleados para describir el funcionamiento del sistema de distribución al ingresar otro tipo de fusible.

Los fusibles normalizados Hubbell chance se pueden encontrar para valores de 1 a 200 A además de otros tipos de fusibles como los tipos T y los tipos Dual.

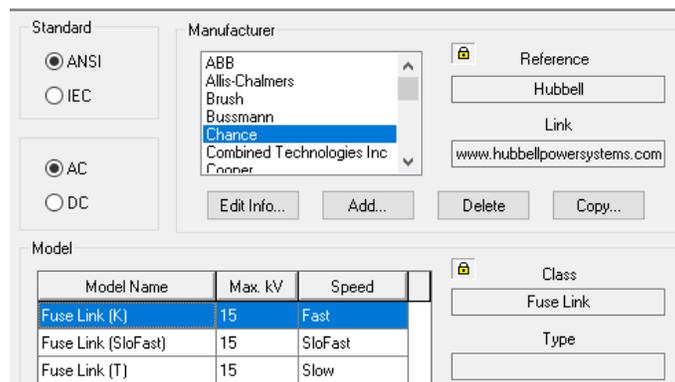


Figura 108. Fusibles comercializados por Hubbell.

Las características rápidas de los fusibles tipo K fueron establecidas por ANSI / NEMA para proporcionar enlaces fusibles que cumplirían los esquemas de coordinación existentes. [16]

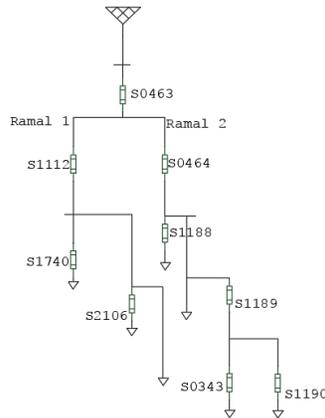


Figura 109. Ubicación de seccionadores existentes.

Según los valores seleccionados se procede a ingresarlos al software ETAP donde se parametrizo el sistema al igual que los fusibles tipo H. inicialmente se realiza la coordinación del ramal 2 según se observa en la figura 110. Entonces la coordinación entre el seccionador 1190 con fusibles de 2 A aguas abajo del seccionador 1189 con valor nominal de 6 A, se observa un corte del fusible protegido para un tiempo 0,0277 s, este caso podría causar la fusión del fusible protegido, se selecciona un valor mayor para el fusible protegido de 8 A. el cual para la corriente nominal del sistema está acorde al funcionamiento al igual que el fusible del seccionador 1190 ya que estos soportan hasta un 150 %.

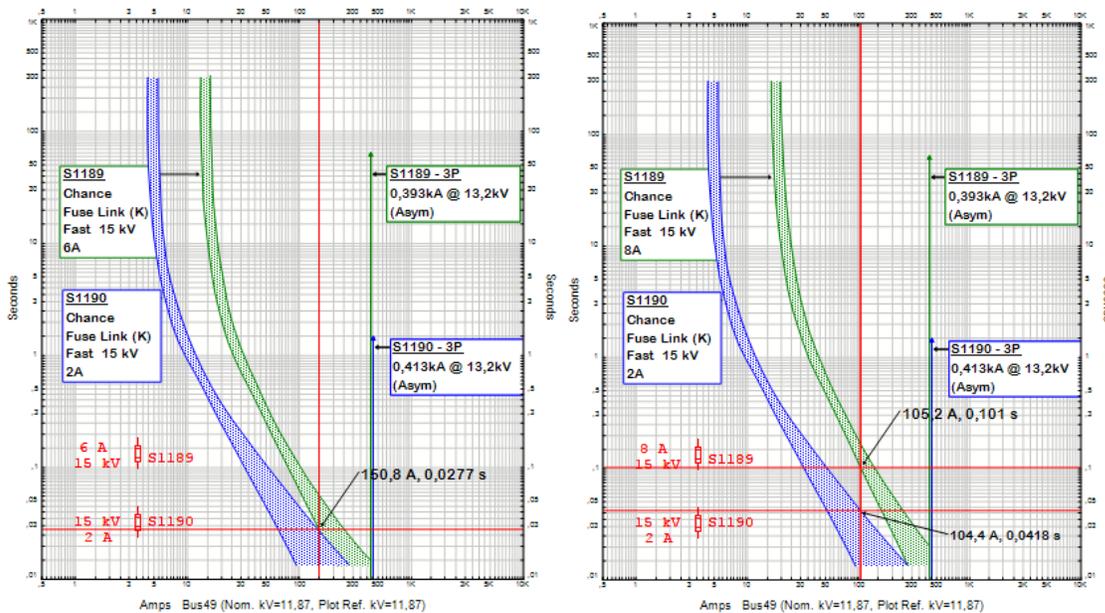


Figura 110. Coordinación entre seccionador 1190 y 1189.

Revisando la coordinación del seccionador 1189 con un valor de 8 A y 0464 no coordinara con un valor de 6 A lo que indica que es necesario buscar un valor superior al igual que el seccionador 0463 con un valor de 15 A que fue seleccionado inicialmente no coordinara con 0464 ya que tienen los mismos valores y se selecciona un fusible 25 A.

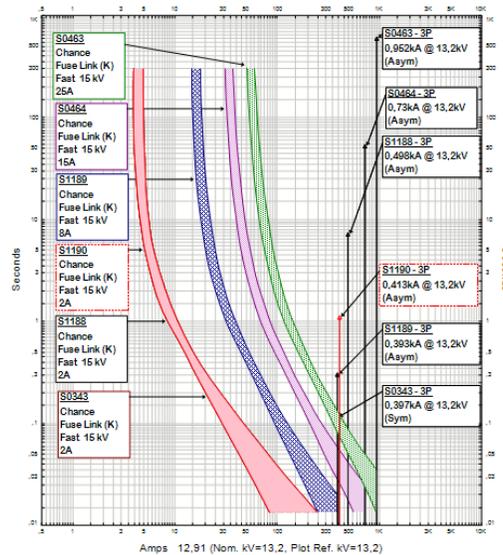


Figura 111. Coordinación entre de seccionadores que se encuentran aguas abajo del 0463.

En la figura 111 observan todas las curvas de los fusibles seleccionados para el ramal 2. Se puede validar el funcionamiento para una corriente de falla generada por un cortocircuito de línea a tierra ingresando una falla aguas abajo del seccionador 1190. Generando una secuencia de disparo como se ve en la tabla 63, ninguno de los tipos de despeje y fusión mínima se cruza indicando que se protege al fusible protegido.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)
16,0	S1190	0,212	< 13,3	16,0
46,0	S1189	0,212	19,2	46,0
155	S0464	0,212	97,7	155
408	S0463	0,212	287	408

Tabla 65. Tiempos de fusión y despeje para seccionadores del ramal 2.

La coordinación de los fusibles ajustados para el ramal 1 se pueden apreciar en la figura 114 que indica el comportamiento escalonado del sistema protegiendo el seccionador principal 0463 encargado a interrumpir todos los usuarios.

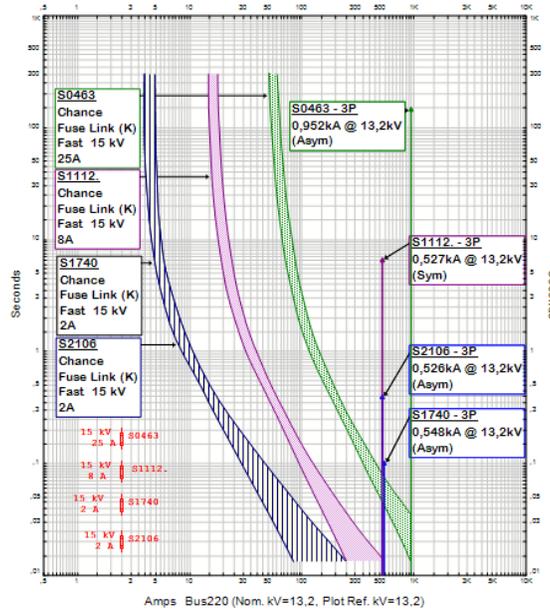


Figura 112. Coordinación entre fusibles del ramal 1. [7]

Según los valores seleccionados inicialmente y ajustados a través de su curva característica da como resultado los valores existentes en la tabla 66.

Seccionador	I nominal máxima en A	Fusible inicial seleccionado tipo K	fusible ajustado en A
RAMAL 1			
S0463	14,56	15	25 k
S1112	6,8	7	8 k
S1740	0,24	2	2 k
S2106	0,28	2	2 k
RAMAL 2			
S0464	5,92	7	15 k
S1188	0,2	2	2 k
S1189	2,52	4	8 k
S1190	1,96	2	2 k
S0343	0,32	2	2 k

Tabla 66. Fusibles seleccionados tipo K.

1.1.38 Simulación y selección con fusibles tipo T.

Los fusibles tipo T con características fusión alta permiten soportar transitorios gracias a sus características constructivas se emplearán en el sistema existente con el fin de observar su comportamiento y determinar si cumple con las condiciones de operación necesarias.

Iniciamos analizando los seccionadores del ramal 2, los cuales según las curvas tiempo corriente fue necesario ajustar los valores inicialmente seleccionados en la tabla 66. Para generar la secuencia necesaria de tal manera que se protejan los seccionadores ubicados en el circuito aguas arriba sin que ocurra un solapamiento entre ellos cumpliendo con un intervalo de tiempo entre el total de despeje y el de fusión mínimo.

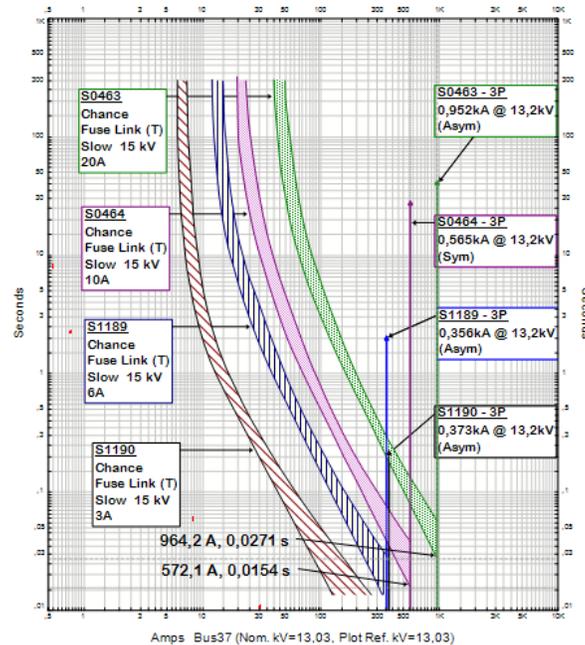


Figura 113. Coordinación entre fusibles tipo T del ramal 2. [7]

Se ingresan al software los fusibles tipo T para el ramal 1 según los valores iniciales de la tabla 66 para iniciar a simular los fusibles y observar su comportamiento. Los valores iniciales del ramal 1 para el 17 40 se ajusta de manera ideal a la carga por lo que iniciamos con el de 2 amperios y el seccionador aguas arriba 1112 con un valor de 3 pero se presenta un solapamiento de las curvas de tiempo mínimo y total de despeje es necesario ajustarlo y subirlo a uno de 6 A que coordina de forma adecuada. El seccionador 1112 según el valor seleccionado se ajusta con el seccionador 0463 que coordina como se observa en la figura 114, cumpliendo con un rango de operación ideal para la coordinación ya que los fusibles instalados en el seccionador 0463 se fundirán para un tiempo de 3 ms.

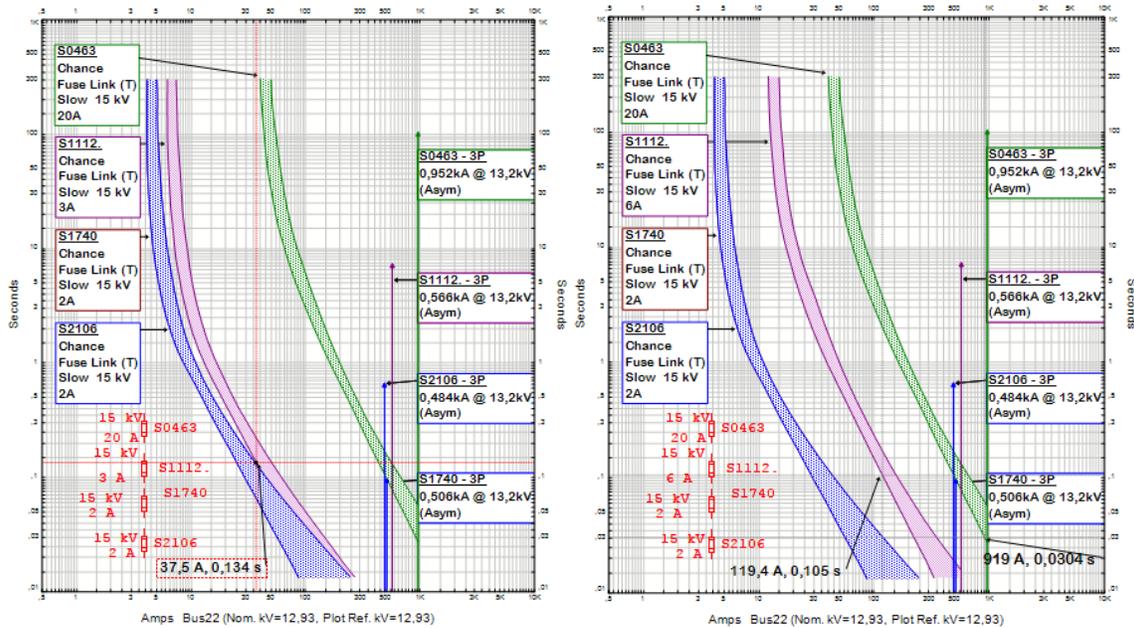


Figura 114. Coordinación entre seccionador 1740, 1112, 0463. [7]

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE FUSIBLES.

Según el nivel de cortocircuito que se maneja y teniendo en cuenta las condiciones del terreno en las cuales están instalados los seccionadores los valores seleccionados para los fusibles según el comportamiento propio y lo visto a través de su curva tiempo corriente presentaron comportamientos diferentes para los cuales el fusible tipo H presenta características de operación rápida ante valores de corrientes menores al límite cortocircuito asimétrico, el fusible tipo K soportó mejor las condiciones de cortocircuito que el tipo H pero quedando en un punto intermedio entre fusible tipo T que por sus características constructivas presentó un mejor soporte ante transitorio de medio ciclo ya que el tiempo de fusión en relación a la corriente era mayor en comparación de los otros fusibles.

Dadas estas razones y considerando las características de los fusibles tipo T para soportar transitorios se hace la recomendación de utilizar los fusibles tipo T para el seccionamiento de los ramales de media tensión ya que estos coordinan de forma favorable entre los mismos dispositivos además de tener un soporte ante transitorios que permitirá dar continuidad a eventos transitorios.

Pero un criterio que es necesario considerar es que una falla se necesita aislar de forma rápida sin que se afecte al sistema por lo que los fusibles tipo K presentan una buena opción para la protección ya que se mantuvieron en un punto intermedio de soporte ante transitorios y velocidad de despeje.

II.27 Coordinación entre fusibles aledaños.

Para determinar que fusible se ajusta con los ya seleccionados aguas abajo del circuito de distribución y circuitos cercanos se hace necesario conocer la capacidad de cortocircuito en la ubicación de los seccionadores de la red aguas arriba y los aledaños. Por lo tanto, se solicita estos datos además de los valores nominales del sistema como corriente y nivel de tensión para considerar estos valores en la selección.

Se tienen dos seccionadores en el circuito aguas arriba el seccionador 2182 seguido del seccionador 1187 los cuales interrumpen el circuito principal. El seccionador 1187 es más cercano al reconectador no se planteará la coordinación con el reconectador ya que no se tiene conocimiento sobre las características nominales de operación.

Seccionador	Código	Corriente simétrica trifásica KA	Corriente Asimétrica monofásica KA	In máxima A	Tensión KV
S 1110	MVEL14578	0,31	0,465	1,41	12,81
S 0101	MVEL14524	0,41	0,615	4,47	12,8
S 1726	MVEL51512	0,46	0,69	0,69	12,8
S 1049	MVEL51049	0,63	0,945	8,82	12,85
S2182	MVEL14427	0,65	0,975	18,34	12,85
S1187	MVEL51635	1,02	1,53	29,26	12,99

Tabla 67. Datos nominales de seccionadores ubicados en el circuito aguas arriba del seccionador 0463.

Además, se tienen seccionadores aledaños que deberán estar coordinados con los ya seleccionados en el presente proyecto como se observan en la figura 115.

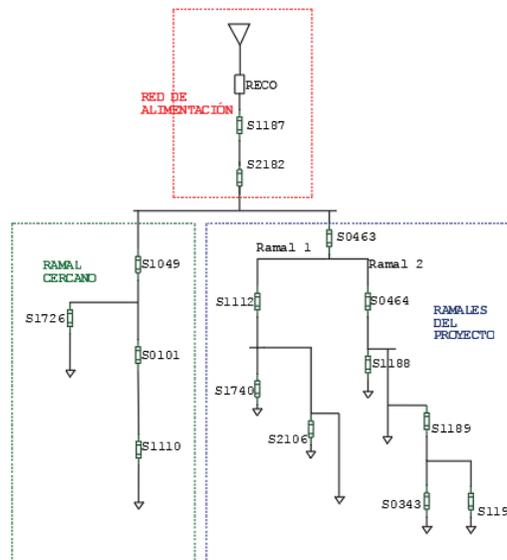


Figura 115. Ubicación de seccionadores existentes en el alimentador el troncal.

Para el caso de los fusibles tipo K se observa en la figura 116 donde se verifico que se cumpla los rangos de tiempo para coordinación y dio como resultado lo mostrado en la figura 116, con valores de corriente de 40 y 65 A, se hace necesario verificar si se coordina con el reconector de forma adecuada en este trabajo no se logró realizar por motivos de tiempo para terminar de validar el funcionamiento de fusibles seleccionados.

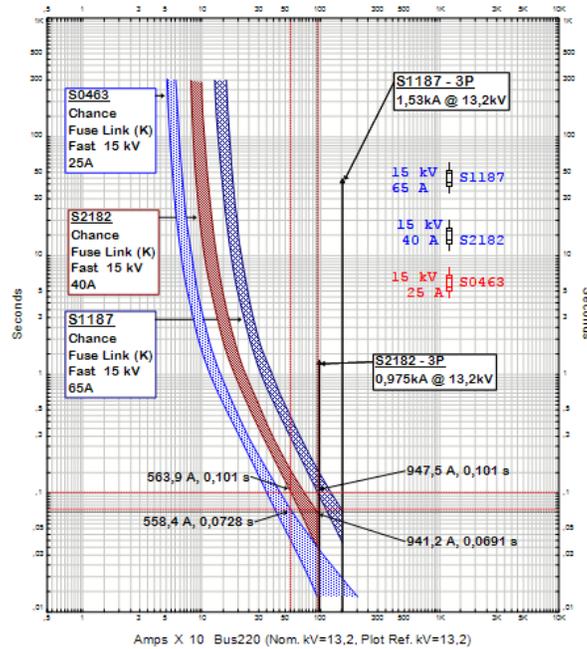


Figura 116. Seccionadores ubicados en el circuito aguas arriba del seccionador 0463. [7]

Realizando el cálculo para verificar si se cumple el criterio del 75 % el seccionador 0463 y 2182

$$\frac{0,0728}{0,101} \times 100 < 75\% \quad (31)$$

$$72\% < 75\% \quad (32)$$

Para el seccionador 2182 y 1187 según las siguientes ecuaciones se tiene.

$$\frac{0,0691}{0,101} \times 100 < 75\% \quad (33)$$

$$69\% < 75\% \quad (34)$$

Se generará una secuencia de disparo adecuado en los seccionadores ubicados en circuito aguas arriba de la alimentación. No se tuvo en cuenta los fusibles tipo H debido a que los fusibles tipo K coordinan mejor que estos cosas con reconectores y otros dispositivos.

Para el caso de los seccionadores aledaños como se observa en la figura 117 los valores seleccionados se ajustan de forma adecuada a los empleados en el proyecto de tal manera se puede asegurar que los fusibles coordinaran cumpliendo con el concepto de fusible protector y fusible protegido.

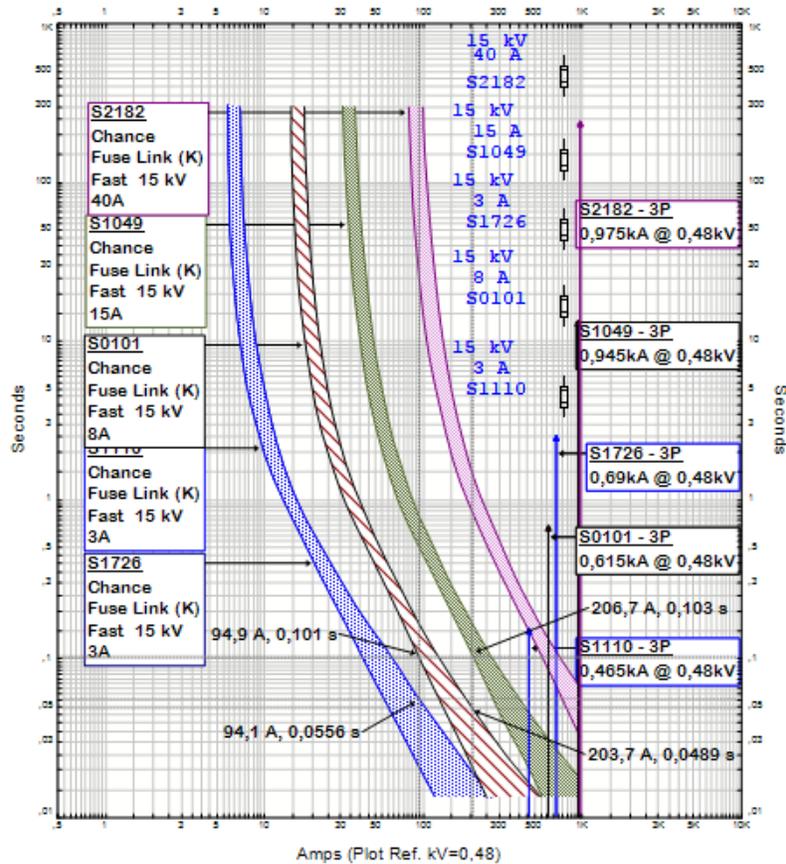


Figura 117. Coordinación entre seccionadores aledaños. [7]

1.1.1 Metodología general empleada.

Una vez se obtienen los valores nominales a los cuales estarán sometidos los fusibles se puede validar la información obtenida por medio de la siguiente metodología con el fin de asegurar el conocimiento de toda la información y los pasos a seguir.

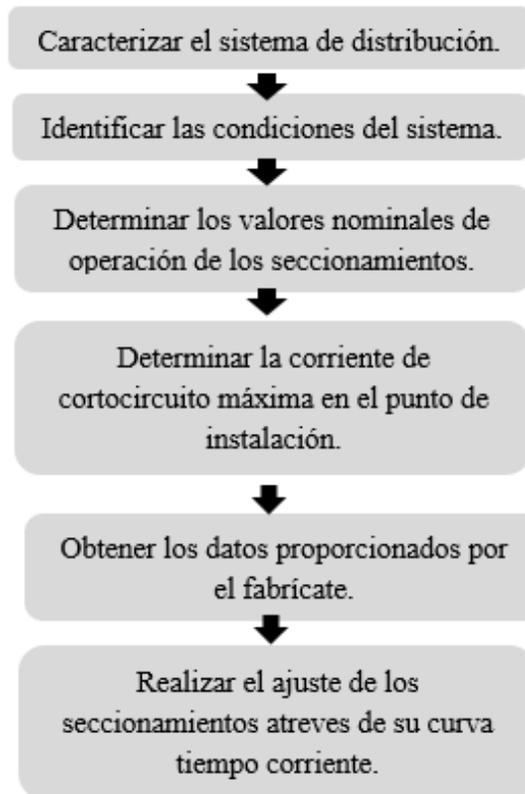


Figura 118. Metodología general empleada.

La metodología planteada en la figura 118 permitirá tener de forma más clara los pasos a considerar y llevar a un mejor termino la selección de fusibles para la protección de los ramales del sistema de distribución.



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.

X. CONCLUSIONES.

- Es necesario conocer el comportamiento del sistema para determinar las condiciones en las que deben operar los equipos de protección para poder determinar las capacidades nominales sin la destrucción del equipo de protección de tal forma que se ejecute la coordinación adecuada sin el fallo de un equipo de protección.
- Los datos conocidos del sistema de distribución de la red de media tensión del distrito 8 fue extraída por medio de lo parametrizado en el software SPARD lo que facilito la obtención de la información para obtener los datos referentes a los transformadores, distancia de conductores entre otros.
- La distancia es uno de los factores a considerar debido a que esta afecta de forma directa la corriente de cortocircuito dependiendo de la ubicación de la falla por tal motivo la distancia medida de los conductores debe ser lo más cercana posible a lo ubicado en terreno para realizar la simulación de la coordinación.
- El flujo de carga permite obtener los valores necesarios para considerar las características nominales del sistema de protección por lo que es necesario realizar una simulación en software donde se encuentra parametrizado el sistema debido a que realizar este cálculo de forma manual sería demasiado tedioso.
- Los parámetros descritos en el software SPARD tienen algunas incongruencias que es necesario corregirlas debido a que no fueron parametrizadas de acuerdo a las características de los equipos existentes por lo es necesario corregir algunos valores antes de realizar el flujo de carga.
- La obtención de la información del flujo de carga se debe hacer de la mano del nombre o código del punto físico o eléctrico del sistema en donde se quieren conocer los datos nominales de operación para poder buscar estos valores de forma adecuada.
- Etap permite realizar el estudio de cortocircuito de acuerdo a un estándar definido por usuario de tal manera es necesario ajustarlo de acuerdo a las condiciones del sistema por medio de los datos obtenidos en la caracterización. Para obtener los valores de cortocircuito necesarios para la selección de forma adecuada de las protecciones.
- Las condiciones de cortocircuito proporcionadas por ETAP nos permitirá obtener valores pico de cortocircuito para una duración de medio ciclo que sería el peor de los casos en las cuales una protección podría operar por estos aspectos es necesario ajustar los valores en el menú de cortocircuito para obtener los datos necesarios.
- Etap puede correr al mismo tiempo los tipos de fallas típicas de un sistema de distribución en todos los nodos de conexión de tal manera se hace necesarios la selección de los buses que estarán en corto de forma ajustada a los valores que se quieran tener con el fin de extraer un resumen de cortocircuito con las magnitudes de los fallos en las zonas de interés.
- Los fabricantes proporcionan las magnitudes de daños de los elementos fusibles en relación al tiempo, algunos de los fabricantes se niegan a suministrar la información siempre y cuando no se hagan los negocios con la empresa lo que dificulta la obtención de la información necesaria para realizar la selección por medio de sus curvas t-i.



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.

- Cada fabricante deberá proporcionar los factores de cambio por temperatura que es un criterio importante para la selección de los fusibles. Pero estos no son facilitados por la empresa comercializadora que actual mente le vende a la empresa de energía lo que dificulta la búsqueda de estos datos.
- Al realizar la simulación ingresando fallas al sistema se pudo apreciar las condiciones en las que se encuentra en la actualidad, además de poder ver a que se debían las salidas excesivas de los seccionadores principales, la inserción de fallas para la prueba de los fusibles seleccionados juega un papel importante para determinar si se cumple una secuencia de disparo adecuada de seccionador protector y protegido.
- El presente proyecto será socializado en el círculo de calidad, desarrollado en la empresa de energía ENELAR ESP, donde se tocan temas como proyectos nuevos y ajustes del sistema con el fin de mostrar la selección de forma adecuada aplicando criterios de selección, para los seccionamientos de las redes de media tensión. Debido a que es un problema que se ha presentado en todo el departamento.



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.

XI. LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de especificaciones IEEE fusibles. [10].....	24
Tabla 2. Dimensiones generales de cuchilla - fusible. Tipo estándar. [1].....	35
Tabla 3. Características eléctricas cortacircuitos fusibles. [11]	36
Tabla 4. Capacidad de corriente de interrupción para cortacircuitos fusible. [6].....	37
Tabla 5. BIL y distancias de fuga de los cortacircuitos fusible [6]	37
Tabla 6. Recomendaciones para la correcta aplicación de cortacircuitos en los diferentes voltajes de sistemas de distribución. [1].....	38
Tabla 7. Capacidad continua de corriente de fusibles de distribución tipos K, T, H, y N de estaño. [6]	40
Tabla 8. Capacidad de sobrecarga. [12]	43
Tabla 9. Asignación de niveles para transformadores monofásicos y trifásicos según su potencia. [12]	43
Tabla 10. Capacidad térmica. [12]	44
Tabla 11. Capacidad para soportar corriente Inrush. [12].....	46
Tabla 12. Comparación de las ventajas y desventajas del uso de fusibles con relación de fusión alta y baja. [12]	47
Tabla 13. Coordinación entre fusiles tipo K y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6]	51
Tabla 14. Coordinación entre fusibles tipo K (EEI-NEMA). [6].....	52
Tabla 15. Coordinación de fusibles tipo T (EEI-NEMA). [6].....	52
Tabla 16. Coordinación entre fusiles tipo K y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6]	53
Tabla 17. Coordinación entre fusibles tipo T y tipo H de alta descarga (EEI-NEMA). [6].....	53
Tabla 18. Tabla de coordinación para chance tipo "k" (rápido) ANSI fuse links. [16].....	53
Tabla 19. Tabla de coordinación para chance tipo "T" (lento) ANSI fuse links. [16]	54
Tabla 20. Datos de placa característica del transformador.....	57
Tabla 21. Transformadores instalados ramal 1 y 2.	57
Tabla 22. Usuarios alimentados por el alimentador AQ0102.	60
Tabla 23. Total, de usuarios del tramo red bajo estudio.....	60
Tabla 24. Usuarios según el ramal de alimentación.....	60
Tabla 25. Seccionador S0463 arranque del circuito ramal principal.....	60
Tabla 26. Seccionador S1112 salida las bancas ramal 1.	61
Tabla 27. Seccionador con transformador asociado s1740 ramal 1.	61
Tabla 28. Seccionador escuela Santa Isabel s2106 ramal 1.	61
Tabla 29. Seccionador S0464 salida las bancas ramal 2.	62
Tabla 30. Seccionador S1188 vereda carretero del ramal 2.	62
Tabla 31. Seccionador S1189 ramal 2.....	62
Tabla 32. seccionamiento S0343 ramal 2.....	63
Tabla 33. seccionamiento S1190 ramal 2.....	63
Tabla 34. Salidas reportadas durante el año 2016 seccionadores del distrito 8 ramal 1.	65





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.

Tabla 35. Salidas reportadas durante el año 2016 seccionadores del distrito 8 ramal 2.	66
Tabla 36. Fusibles de expulsión instalados en la actualidad.	66
Tabla 37. Corrientes de fusión fusible tipo H. [17].....	68
Tabla 38. Corrientes de fusión fusible tipo K. [17].....	71
Tabla 39. Corriente de fusión fusibles tipo T. [17]	73
Tabla 40. Corrientes de fusión para fusibles tipo DUAL. [17]	73
Tabla 41. Valores nominales transformadores existentes.	83
Tabla 42. Soporte térmico de transformador de 10 KVA.	84
Tabla 43. capacidad de sobrecarga transformador de 10 KVA.....	84
Tabla 44. Corriente Inrush transformador de 10 KVA.	84
Tabla 45. Fusibles seleccionados para la protección de los transformadores monofásicos.	89
Tabla 46. Corrientes nominales para transformadores trifásicos.	90
Tabla 47. Valores ingresados del transformador de 30 KVA. [7].....	91
Tabla 48. Valores ingresados del transformador de 30 KVA. [7].....	91
Tabla 49. Soporte térmico transformador de 30 KVA.	91
Tabla 50. Capacidad de sobrecarga transformador de 30 KVA.	92
Tabla 51. Soporte corriente Inrush transformador de 30 KVA.	92
Tabla 52. Valores de corriente medidos.	99
Tabla 53. Flujo de carga radial balanceado proporcional a la capacidad de los transformadores...	102
Tabla 54. Flujo de carga radial balanceado proporcional a las lecturas de consumo.....	103
Tabla 55. Corrientes de falla punto de arranque.	106
Tabla 56. Requisitos particulares para cables de aluminio con refuerzo de acero ACSR. [22]	108
Tabla 57. Puntos de conexión de seccionadores.	110
Tabla 58. Resultado de análisis de cortocircuito.....	113
Tabla 59. Clases de cortocircuito según su porcentaje de ocurrencia. [4]	115
Tabla 60. Fusibles instalados en la red de distribución actualmente.....	115
Tabla 61. Valores nominales del sistema.	120
Tabla 62. Valores iniciales seleccionados.....	123
Tabla 63. Fusibles seleccionados y ajustados ramal 1 y 2.	127
Tabla 64. Corriente nominal y fusible seleccionado para la coordinación.....	128
Tabla 65. Tiempos de fusión y despeje para seccionadores del ramal 2.....	130
Tabla 66. Fusibles seleccionados tipo K.	131
Tabla 67. Datos nominales de seccionadores ubicados en el circuito aguas arriba del seccionador 0463.....	134



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.

XII. LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de la corriente de falla. [2] -----13
 Figura 2. Tipos de cortocircuito. [2]-----14
 Figura 3. Gráfica de corriente de cortocircuito. [4]-----15
 Figura 4. Curvas de fusibles 15K y 15T Chance Fuse link. [7] -----16
 Figura 5. Relación de velocidad de fusibles. [7] -----17
 Figura 6. Tiras de fusibles utilizados en media tensión fussand. [8] -----18
 Figura 7. Curvas de fusibles de diferentes valores de corriente. [7] -----19
 Figura 8. Curva característica de un fusible de media tensión. [7] -----22
 Figura 9. Eslabón fusible típico usado en cortacircuitos de distribución tipo intemperie a) para
 menos de 10 A y b) entre 10 A y 100 A. [6]-----25
 Figura 10. Interrupción de una corriente de falla de baja magnitud. [1] -----26
 Figura 11. Interrupción de una corriente de falla de alta magnitud y diferentes asimetrías. [1] -----27
 Figura 12. Curvas características fusibles tipo H. [7] -----28
 Figura 13. Fusible de expulsión y fusible limitador de corriente. [10] -----30
 Figura 14. Curvas fusibles limitador como respaldo y expulsión como protección. [7] -----31
 Figura 15. Fusible electrónico. [9]-----32
 Figura 16. Cortacircuitos fusible de media tensión de tres disparos. [11] -----33
 Figura 17. El cortacircuitos fusible y sus componentes. [6] -----34
 Figura 18. Localización de los fusibles de protección y protegido. [6]-----40
 Figura 19. Características de soporte mecánico, térmico y de sobrecarga. [12] -----44
 Figura 20. Características de soporte mecánico, térmico y de sobrecarga. [12] -----44
 Figura 21. Curva térmica de un transformador y curva de corriente de conexión (corriente de
 Inrush). [12] -----45
 Figura 22. Curva de cargabilidad de un transformador. [12] -----45
 Figura 23. Curva de conexión un transformador de 112,5 KVA. [7] -----48
 Figura 24. Coordinación de protecciones. [9] -----49
 Figura 25. Ejemplo de coordinación Fusible - Fusible (de expulsión). [9] -----50
 Figura 26. Curvas t-I para coordinación del circuito dado en la figura 25. [6]-----51
 Figura 27. Fotografía municipio de Arauquita.-----55
 Figura 28. Falla debida a vegetación cercana a la red.-----56
 Figura 29. Transformador de 5 MVA Subestación municipio Arauquita. -----57
 Figura 30. Distribución de red en media tensión distrito 8.-----58
 Figura 31. Diagrama unifilar veredas del distrito 8.-----59
 Figura 32. Atributos de conductor ACSR #2. -----64
 Figura 33. Reporte de fallas para el municipio de Arauquita. -----64
 Figura 34. Descripción de las operaciones realizadas en campo.-----65
 Figura 35. características tiempo corriente fusible tipo H, mínimo tiempo de fusión. [8]-----69
 Figura 36. Curvas tiempo corriente fusibles hubbell chance K tipo expulsión. [18]-----70





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.

Figura 37. Curvas tiempo corriente fusibles hubbell chance T tipo expulsión. [18] -----72
 Figura 38. Curvas tiempo corriente fusibles Hubbell chance DUAL de tipo expulsión. [18]-----74
 Figura 39. Curva tiempo corriente de fusión mínima de fusibles 12H, 12K, 12T Y DUAL. [7]----75
 Figura 40. Interfaz del software ETAP POWERING SUCCESS. [7] -----76
 Figura 41. Librería de fusibles software ETAP. [7] -----76
 Figura 42. Parámetros característicos de los fusibles. [7] -----77
 Figura 43. Menú de ingreso de puntos de las curvas tiempo corriente. [7] -----77
 Figura 44. Menú para parámetros de transformadores en ETAP. [7] -----78
 Figura 45. Menú de datos nominales para transformadores. [7] -----79
 Figura 46. Menú de Impedancias nominales. [7] -----79
 Figura 47. Menú de configuración del Tap del transformador. [7]-----79
 Figura 48. Menú selección de conexión de devanados. [7] -----80
 Figura 49. Menú selección de corriente de magnetización. [7] -----81
 Figura 50. Curva de destrucción y magnetización según estándar ANSI 2797 de 1990,
transformador de nivel 1. [7] -----81
 Figura 51. Cortacircuito melec. -----82
 Figura 52. Transformadores monofásicos de 10 y 15 KVA. -----83
 Figura 53. Parámetros ingresados para el transformador de 10 KVA. [7] -----85
 Figura 54. Curva de destrucción de transformador con curva de energización. [7]-----85
 Figura 55. Selección de fusible tipo H. [7]-----86
 Figura 56. Selección de fusible tipo K. [7]-----87
 Figura 57. Selección fusible tipo T. [7]-----87
 Figura 58. Figura 55. Selección fusible tipo DUAL. [7] -----88
 Figura 59. Fusibles seleccionados para los transformadores de 15 KVA y 25 KVA. [7]-----89
 Figura 60. Transformador trifásico de 30 KVA. -----90
 Figura 61. Prueba de fusibles tipo H, K, T de 2 A. [7] -----92
 Figura 62. Fusible tipo dual de 0.6 A para transformador de 30 KVA. [7]-----93
 Figura 63. Fusibles seleccionados para los transformadores de 37,5 KVA y 45 KVA. [7] -----93
 Figura 64. Fusibles seleccionados para protección de trafo 30, 37,5 y 45 KVA.-----94
 Figura 65. Interfaz del software Spard Distribution. [20] -----95
 Figura 66. Nodo eléctrico seccionador S1189. [20] -----95
 Figura 67. Menú general software SPARD. [20] -----96
 Figura 68. Configuración de alimentados para la asignación topológica. [20]-----97
 Figura 69. Configuración de la subestación. [20]-----98
 Figura 70. Corriente IA del alimentador AQ0102. -----98
 Figura 71. Corriente IB del alimentador AQ0102. -----99
 Figura 72. Corriente IC del alimentador AQ0102. -----99
 Figura 73. Potencia activa consumida de enero a septiembre. -----99
 Figura 74. Potencia reactiva consumida de enero a septiembre.----- 100
 Figura 75. Lecturas del alimentador en el software SPARD. [20]----- 100





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.

Figura 76. Asignación de carga alimentador AQ0102. [20] -----	101
Figura 77. Flujo de carga alimentador AQ0102. [20] -----	102
Figura 78. Interfaz de software ETAP. [7] -----	103
Figura 79. Red de alimentación para distrito 8. [7] -----	104
Figura 80. Información inicial red de alimentación. [7] -----	105
Figura 81. Información de clasificación del sistema. [7] -----	105
Figura 82. Datos de cortocircuito. [7] -----	107
Figura 83. Vista de conexión transformador monofásico. -----	107
Figura 84. Conductor de aluminio con alma de acero 6/1. [21] -----	108
Figura 85. Librería de líneas de transmisión y parámetros de conductor. [7] -----	108
Figura 86. Configuración de conductor trifásico. [7] -----	109
Figura 87. Carga asignada transformador trifásico. [7] -----	109
Figura 88. Información inicial para el análisis de cortocircuito. [7] -----	110
Figura 89. Selección de estándar y características de cortocircuito. [7] -----	111
Figura 90. Tipos de estudio según estándar ANSI. [7] -----	111
Figura 91. Valores de cortocircuito para seccionadores principales. [7] -----	112
Figura 92. Corrientes de falta para duración de 1/2 ciclo. [7] -----	112
Figura 93. Curva t-i fusible 65 A tipo k. [7] -----	114
Figura 94. Ubicación de seccionadores existentes. -----	116
Figura 95. Secuencia de disparo del fusible. [7] -----	116
Figura 96. Tiempo de despeje fusibles 1190 y 1189. [7] -----	116
Figura 97. Curvas tiempo corriente y de cortocircuito seccionador 1190 y 1189. [7] -----	117
Figura 98. Ubicación de falla. [7] -----	117
Figura 99. Curvas de corte seccionadores 0463, 0464 y 1189. [7] -----	118
Figura 100. Curva t-i fusibles del seccionador 1112 y 0463. [7] -----	119
Figura 101. Factores para cambio en la temperatura ambiente de fusibles de enlace. [4] -----	120
Figura 102. Curva t-i con factor de corrección y sin factor de corrección. -----	121
Figura 103. Estructura de montaje para seccionadores. [21] -----	122
Figura 104. Coordinación entre seccionador 2106 y 1112. [7] -----	123
Figura 105. Coordinación entre seccionador 1112 y 0463. [7] -----	125
Figura 106. Coordinación entre seccionadores del ramal 2. [7] -----	126
Figura 107. Coordinación de fusibles del ramal 1 ajustado al ramal 2. [7] -----	127
Figura 108. Fusibles comercializados por Hubbell. -----	128
Figura 109. Ubicación de seccionadores existentes. -----	129
Figura 110. Coordinación entre seccionador 1190 y 1189. -----	129
Figura 111. Coordinación entre de seccionadores que se encuentran aguas abajo del 0463. -----	130
Figura 112. Coordinación entre fusibles del ramal 1. [7] -----	131
Figura 113. Coordinación entre fusibles tipo T del ramal 2. -----	132
Figura 114. Coordinación entre seccionador 1740, 1112, 0463. -----	133
Figura 115. Ubicación de seccionadores existentes en el alimentador el troncal. -----	134



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.

Figura 116. Seccionadores ubicados en el circuito aguas arriba del seccionador 0463.----- 135
Figura 117. Coordinación entre seccionadores aledaños. ----- 136
Figura 118. Metodología general empleada. ----- 137
Figura 119. Plano con resumen de información pertinente para sustentación. - **¡Error! Marcador no definido.**

XIII. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] S. RAMIREZ CASTAÑO, Redes de Distribución de Energía, Manizales Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [2] G. M. Daniel, Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales, Mexico, 2012-05-22.
- [3] J. C. B. Quesada, Estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones., Costa Rica, 2014.
- [4] G. A. G. Mora, Manual para coordinación de fusibles en la red de media tensión, Costa Rica, 2012.
- [5] E. S. ARCE LAZO, «Estudio de coordinación de protecciones en alta y media tensión en la subestación Machala propiedad de la Corporación Nacional de Electricidad S.A.» Cuenca, Febrero de 2010.
- [6] S. R. Castaño, Protección de Sistemas Eléctricos, Colombia Sede Manizales, 2012.
- [7] E. P, *Electrical Power System Analysis & Operation Software*, Powering Success.
- [8] FUSSAND S.A., «FUSSAND,» [En línea]. Available: <http://www.fussand.com/productos/fusibles-de-hilo-media-tension>. [Último acceso: 06 10 2017].
- [9] R. E. y. Lara, «Sistemas de Distribucion,» LIMUSA S.A DE C.V, MEXICO, 1990.
- [10] S. d. e. y. e. IEEE, «Guía IEEE para la Aplicación, Operación, y Coordinación de Alto-Voltaje (> 1000 V) Fusibles Limitadores de Corriente,» IEEE 3 Park Avenue Nueva York, 2012.



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.

- [11] S. UNION FENOSA INTERNACIONAL, «CORTACIRCUITOS FUSIBLES SECCIONADORES DE EXPULSIÓN.,» España., 2004.
- [12] ICONTEC, «GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN,» Santafé de Bogotá, 1990.
- [13] A. N. STANDARD, Guide for Transformer Through - Fault - Current Duration, Estados Unidos: ANSI/IEEE C57.109, 1985.
- [14] A. N. STANDARD, Guide for Protective Relay Applications to Power, 1985: ANSI/IEEE C37.91, Estados Unidos.
- [15] A. N. STANDARD, General Requeriments for Liquid Inmersed Distribution,Power and Regulating Transformers., Estados Unidos: ANSI/IEEE C57.12.00, 1980.
- [16] Hubbell Chance, «Application of Primary Fuses,» 2000.
- [17] E. D. E. D. A. E. E.S.P., *NORMAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA LOS NIVELES I Y II*, ARAUCA, 2014.
- [18] CODENSA S.A. ESP, «Likinormas,» 2011. [En línea]. Available: http://likinormas.micodensa.com/Especificacion/aisladores/et501_fusibles_mt_tipo_h_k_t#. [Último acceso: 2017 10 28].
- [19] H. Incorporated, «HUBBELL POWER SYSTEMS,» 2001. [En línea]. Available: <http://www.hubbellpowersystems.com/>. [Último acceso: 11 11 2017].
- [20] M. A. L. VELASCO, ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA Y COORDINACIÓN DE PROTECCIONES PARA DETERMINAR LAS RUTAS DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS., 2008.
- [21] S. Distribución, *Software empleado por ENELAR ESP.*, Arauca., 2017.
- [22] ENELAR ESP, «Herrajes de redes y lineas de distribucion.,» p. 331, 4 2014.
- [23] RETIE, «REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS,» pp. 90-91, 30 AGOSTO 2013.
- [24] B. V. Orozco ochoa, «ANÁLISIS DE LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEL,» Guatemala, noviembre de 2005.



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.

- [25] M. E. H. ANGEL, « Blogger,» [En línea]. Available:
<http://grupo2tecnologiasenacodensa.blogspot.com.co/p/cortacircuitos.html>. [Último acceso:
06 10 2017].
- [26] S&C Electric Company , « S&C Electric Company,» 2017. [En línea]. Available:
<http://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/limitador-fusible-fault-tamer/>.
[Último acceso: 07 10 2017].
- [27] DIRECT INDUSTRY, «DIRECT INDUSTRY,» [En línea]. Available:
<http://www.directindustry.es/prod/siemens-medium-voltage-systems/product-32881-1307221.html>. [Último acceso: 09 10 2017].
- [28] Luhfser, «Luhfser,» [En línea]. Available: www.elistas.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?K9D9K9Q8L8xumopxC-qjd-uluCVRURSCvthCnoqdy-qlhhyCXTUSQjfb7. [Último acceso: 11 10 2017].
- [29] Gruo tei Mexico., «All Rigths Reserved Grupo Tei Mexico.,» 2009. [En línea]. Available:
http://grupoteimexico.com.mx/cortacircuitos_de_potencia.php. [Último acceso: 14 10 2017].
- [30] I. D. APARALLAJES, «CORTACIRCUITOS FUSIBLES DE EXPULSIÓN Y SECCIONALIZADORES,» 2012. [En línea]. Available:
http://iberapa.es/catalogos/productos/CUTOUTS_CU_01_03A-E.pdf. [Último acceso: 14 10 2017].
- [31] IEEE, IEEE Standard Specifications for High-Voltage (> 1000 V) Expulsion-Type Distribution-Class Fuses., 2009.