

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO IMPLEMENTANDO
FUSE-SAVER EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE EL
SALVADOR COMO REEMPLAZO DE FUSIBLES DE
EXPULSIÓN**

PRESENTADO POR:

RAFAEL DOMINGO CALL ORTÍZ

HÉCTOR SAMUEL GUTIÉRREZ BONILLA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DEL 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PHD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR:

ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO IMPLEMENTANDO
FUSE-SAVER EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE EL
SALVADOR COMO REEMPLAZO DE FUSIBLES DE
EXPULSIÓN**

Presentado por:

RAFAEL DOMINGO CALL ORTÍZ

HÉCTOR SAMUEL GUTIÉRREZ BONILLA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. ANA MARÍA FIGUEROA DE MUNGUÍA

SAN SALVADOR, JULIO DE 2022

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, miércoles 22 de junio de 2022, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:30 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón
Director
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma


Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. ANA MARIA FIGUEROA DE MUNGUÍA
(Docente Asesor)
- MSC. LUIS ROBERTO CHEVEZ PAZ
- ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN


Firma


Firma


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO IMPLEMENTANDO FUSE-SAVER EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE EL SALVADOR COMO REEMPLAZO DE FUSIBLES DE EXPULSIÓN

A cargo de los Bachilleres:

- CALL ORTIZ RAFAEL DOMINGO
- GUTIÉRREZ BONILLA HÉCTOR SAMUEL

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 9.0

(NUEVE PUNTO CERO)

AGRADECIMIENTOS

A Dios Por siempre guiarme en el camino correcto brindarme la sabiduría de tomar las buenas decisiones y colocar a las personas indicadas a lo largo de todo el desarrollo de mi carrera.

A mis Padres, Rafael Call y Jacqueline Ortiz de Call por brindarme el apoyo incondicional en toda mi formación académica desde sus inicios hasta el final y todo los esfuerzos y sacrificios que esto conllevó.

A mis hermanos Andrea Esmeralda y Gabriel Antonio por estar a mi lado y ayudarme en momentos que lo necesitaba no solo académicamente sino también haciendo más amenos los momentos.

A mi abuela Victoria Díaz, QEPD, Por el cariño y detalles que me brindó siempre de manera incondicional.

A mi bisabuela Concepción por siempre mantenerse atenta de mi familia y sobre todo de mis hermanos.

A mi amigo, compañero de tesis y colega Héctor Gutiérrez por su compañerismo, profesionalismo y apoyo a lo largo del proceso de toda la carrera.

A la Ing. Ana María Figueroa por su apoyo, paciencia, comprensión tanto a lo largo de este trabajo de graduación como en las materias que nos impartió siendo las bases fundamentales para el mismo.

A mis compañeros, amigos y futuros colegas a lo largo de todos estos años, Miguel Pérez, Miguel Vázquez, Jorge Rivera, Fidel Castro, Laura Guevara, Jorge Cano y William Minero por su amistad, compañerismo y experiencias compartidas en todo el tiempo que compartimos en la mejor Universidad.

Al Ing. Wilber Calderón con el cual llevé la primera materia correspondiente a mi carrera con quien aprendí mucho y de igual manera aprendí a enseñar como instructor de diversas ramas de la carrera, agradeciendo la confianza que me brindó a lo largo de mi formación profesional.

A Larissa Guevara por su amistad e incondicional apoyo y consejos.

A Ana Osorio por su amistad, atención y consejos en todo momento en el que lo necesite.

A todos los docentes que formaron parte de mi formación, pero sobre todo al correspondiente a la EIE tanto docente como administrativo por no solo formar académicamente sino también a desarrollar de manera profesional.

A toda persona que no menciono, pero formó parte directa o indirectamente de mi día a día en mi formación independientemente de la carrera o facultad con los que compartimos, salones, pizarrones, canchas y libros.

<<Nunca un Fracaso Siempre una Lección>>

Rafael Domingo Call Ortiz

AGRADECIMIENTOS

En el recorrido por la Universidad de El Salvador, agradezco a Dios por guiarme en cada uno de mis pasos y permitirme cumplir este propósito y ayudarme a nunca rendirme por difíciles que fueran los momentos.

A mis padres Felipe Gutiérrez Sibrian y Ana de Jesús Bonilla, que estuvieron cada instante a mi lado, con motivación y esfuerzo para que yo pudiera realizar este sueño. Este logro no es mío sino de ustedes, les agradezco infinitamente todo el amor, apoyo y cariño que me han tenido que fue lo más esencial, los amo.

A mi hermana y sobrino, Daisy Gutiérrez y Paul Alejandro, que confiaron en mí, e insistían que nunca me detuviera en desarrollarme profesionalmente en la carrera de ingeniería eléctrica.

A mi hermana Carolina Gutiérrez y su esposo Walter Corpeño, por su apoyo y cariño que siempre me han tenido y estar al pendiente de mi en el avance de mi carrera profesional.

A mi compañera de vida, Estela Flores, desde que nos conocimos, me apoyo, motivó y confió que era posible y capaz de alcanzar todas mis metas y a sus padres que siempre me apoyaron y estuvieron pendientes de mi avance profesional como personal.

A mi amigo, Paul Ernesto Hernández Vargas, con quien realice muchos trabajos, y quien me motivó para poder llenarme de experiencia laboral, y me brindo su mano y apoyo en muchas ocasiones.

A mi familia en general por siempre brindarme su apoyo y creer en mí, desde que inicie la carrera, motivando a perseverar en ella.

A mi amigo, compañero de tesis y colega, Rafael Domingo Call Ortíz, le agradezco todos los años que estudiamos juntos, por brindarme de sus conocimientos profesionales y de los proyectos que realizamos juntos.

A mi leal amigo Miguel Ángel Pérez, por brindarme su amistad sincera y ser una persona que siempre me llenó de consejos, por todos los días que íbamos a estudiar a la biblioteca donde forjamos una excelente amistad, como de igual manera agradecer a todos mis compañeros de ingeniería: Jorge Alberto Cano, Jorge Rivera, Harold Ernesto, Ariel Rivera, y demás compañeros y amigos, porque cada uno aportó su conocimiento a mi persona en los momentos más definitivos.

A la Ing. Ana María Figueroa, por su apoyo y por instruirme en sus materias y en el trabajo de graduación, ya que sus conocimientos fueron un excelente aporte y una base fundamental para poder realizar el mismo.

A Reina Vides por su atención y orientación en el transcurso de la carrera, que siempre nos guía y aconseja sobre los procesos de la universidad, además agradecer cordialmente a cada uno de los docentes que brindaron de su conocimiento a mi persona en cada una de las materias cursadas.

-Héctor Samuel Gutiérrez Bonilla.

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
ALCANCES.....	10
ANTECEDENTES:	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	11
JUSTIFICACIÓN	11
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	12
1.1DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	12
1.1.2 ABREVIATURAS.	12
1.1.3 DEFINICIONES.....	12
1.1.3.1 Generación eléctrica en El Salvador.	14
1.1.3.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y TIPOS DE INTERRUPCIONES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	17
1.1.4 INDICADORES GLOBALES:	18
1.1.5 INDICADORES INDIVIDUALES:.....	18
1.1.6 CURVA DE TIEMPO-CORRIENTE DE LA PROTECCIÓN DEL FUSESAVER.....	21
1.1.7 PROTECCIÓN DE DISPARO TRIFÁSICO FALSO.	25
1.1.8 MODOS DE PROTECCIÓN	25
1.1.9 CONDICIONES AMBIENTALES.....	27
1.1.10 NÚMERO DE CICLOS DE MANIOBRA	27

CAPITULO II: ASPECTOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE UN FUSESAVERS.....	29
2.1 DISEÑO DE UN FUSESAVER.	29
2.1.1 DISEÑO DE LA UNIDAD DE INTERRUPTOR.....	29
2.1.2 AUTOALIMENTACIÓN.	30
2.2.3 COMPONENTES INTERNOS DE UN FUSESAVER.	30
2.2.4 TUBO DE MANIOBRA AL VACÍO.	31
2.2.5 ACTUADOR MAGNÉTICO.....	31
2.3 COMPONENTES EXTERNOS DE UN FUSESAVER.....	32
2.3.1 PALANCA EXTERNA.	32
.....	33
2.3.2 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE UN FUSESAVER.	33
2.4 CONFIGURACIÓN.	35
2.4.1 MÓDULO DE COMUNICACIONES.....	35
2.4.2 SOFTWARE SIEMENS CONNECT.....	37
2.5 DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS.	40
CAPITULO III: ANÁLISIS DE CURVA DE FUSESAVER Y FUSIBLE TIPO K.....	44
3.1.1 FUSIBLE DE MEDIA TENSIÓN	44
.....	44
3.1.2 PAR FUSIBLE-FUSESAVERS 15 A.....	45
CAPITULO IV. EJEMPLO DE ESTUDIO.	53
4.1 PARÁMETROS DE LÍNEA.....	53
4.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	53
4.3 DIAGRAMAS DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN.	53

4.4 DESARROLLO TEÓRICO DEL PROYECTO	55
4.4.1 CORRIENTE NOMINAL LÍNEA PRIMARIA.....	55
4.4.2 CALIBRE DEL CONDUCTOR.....	56
4.4.3 CORRIENTE DE CONDICIONES DE SOBRECARGA.....	56
4.4.4 CORRIENTE DE FALLA EN EL NODO DE ENTRADA.	56
4.4.5 CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO DE ENTREGA.	57
4.5. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.....	58
4.5.1. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES RAMAL PRINCIPAL. ...	58
4.5.2 PRIMERA SECCIÓN RAMAL PRINCIPAL	59
4.5.3 CONFIGURACIONES DE FUSIBLES Y RECLOSER	60
4.5.4 COORDINACIÓN RAMAL 1	62
4.5.5 SEGUNDA SECCIÓN RAMAL PRINCIPAL.	63
4.5.6 CONFIGURACIONES DE FUSIBLES Y RECLOSER	63
4.5.7 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SEGUNDO RAMAL	66
4.5.8 COORDINACIÓN RECLOSER-RECLOSER	67
4.5.9COORDINACIÓN TOTAL RAMAL PRINCIPAL	68
CAPITULO V. COORDINACION DE PROTECCIONES CON FUSESAVER EN ETAP.....	69
5.1 INTRODUCCIÓN.	69
5.2 COORDINACIÓN DE FUSESAVER CON FUSIBLES DE EXPULSIÓN.....	69
5.3 CURVA DE FUSESAVER EN ETAP 19	73
CAPITULO VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FUSESAVER.	78
6.1 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.	83
CONCLUSIONES.....	87

INTRODUCCIÓN

En las redes de distribución, los sistemas de protección se convierten en un elemento estratégico para garantizar la confiabilidad de la red. La mayoría de las redes cuentan con protecciones en las cabeceras de los circuitos tales como Recloser o interruptores, pero las líneas radiales están protegidas generalmente por fusibles los cuales ofrecen protección a bajo costo, pero no distinguen entre fallas temporales y fallas permanentes, es por eso que toma relevancia el análisis de la implementación del Fuse-saver, el cual es capaz de despejar fallas transitorias que con fusible convencional se convertiría en interrupción permanente.

El fuse-savers es un interruptor monofásico de potencia, que incorpora un microprocesador para la protección de sobre corriente, recierre automático, monitoreo de corriente de carga y de falla, almacenamiento de secuencia de eventos y ajustes. Los fuse-saver pueden ser controlados por un sistema SCADA una vez se proporcione un medio de telecomunicación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Analizar el impacto técnico y económico en las líneas de distribución en media tensión con la aplicación del equipo de protección fuse-saver sabiendo que es un interruptor de potencia al vacío, versus las protecciones convencionales, realizando la simulación de protecciones y comparando los índices de confiabilidad luego de su implantación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los elementos que componen un fuse-saver, herramientas necesarias para la instalación en una línea de media tensión y configuración para una adecuada operación.
- Investigar los esquemas y criterios de aplicación de fuse-saver en la protección de derivaciones de circuitos de distribución tradicionalmente protegidos por fusibles.
- Analizar el impacto en la confiabilidad de líneas de distribución aérea expuestas a fallas transitorias con la aplicación de fuse-saver.
- Analizar el impacto técnico-económico de líneas de distribución aérea expuestas a fallas transitorias con la aplicación de fuse-saver.
- Digitalizar un circuito de distribución, eliminando los fusibles y reemplazándolo por fuse-saver y analizar el impacto técnico económico.

ALCANCES

- Investigar y proponer un esquema de protección óptimo para operar con los fuse-savers.
- Elaborar la curva de operación de los fuse-saver en un software de flujos de potencia a fin de poder coordinar con otros dispositivos.
- Realizar la coordinación de protecciones de los fuse-savers con los diferentes dispositivos de protección.
- Investigar datos estadísticos actualizados del efecto de la instalación de los fuse-saver en el esquema de protecciones de las empresas distribuidoras.
- Determinar la incidencia de los fuse saver en la confiabilidad del sistema de distribución.
- Investigar el funcionamiento de los fuse-saver y realizar la comparación de funcionamiento con los fusibles de expulsión

ANTECEDENTES:

La mayoría de fallas en nuestro país son debidas a contactos con animales, contactos temporales con ramas de árboles y descargas atmosféricas, siendo todas ellas de carácter transitorio, más sin embargo estas disparan los fusibles, una alternativa que se está llevando a cabo en distintos países y a nivel regional es la implementación de fuse-savers fabricados por la empresa de Siemens , sin embargo a nivel nacional se observa con mayor frecuencia en circuitos radiales ubicados en zonas costeras. No tenemos ningún conocimiento de estudios estadísticos ni técnicos-económicos con el uso de fuse-savers.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Más del 80% de las fallas en los sistemas de distribución son fallas de tipo transitoria, haciendo que los fusibles de protección actúen para despejar la falla, sin embargo, esto deja fuera de servicio a muchos clientes ya que el accionamiento de estos deja el circuito desconectado permanentemente, la solución propuesta es la utilización de fuse-savers para despejar fallas transitorias y que solo en las permanentes se accione el fusible o el equipo quede abierto en forma definitiva.

JUSTIFICACIÓN

Cada vez va en aumento la electrificación del país y por ende el aumento de circuitos radiales llegando cada vez a más clientes en lugares remotos y de difícil acceso donde comúnmente se utilizan como dispositivo de protección un fusible, considerando que la mayoría de fallas son de carácter transitorias es de suma importancia la realización de un estudio técnico-económico de la aplicación del dispositivo fuse-saver como elemento de protección en dichas zonas, su impacto en la economía de la empresa distribuidora así como influencia en los índices de confiabilidad para brindar un mejor servicio con menos interrupciones por fallas transitorias hacia los usuarios finales .

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

1.1 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.

1.1.2 ABREVIATURAS.

SAIDI: índice de duración promedio de las interrupciones del sistema.
SAIFI: índice de frecuencia promedio de las interrupciones del sistema.
MAIFI: índice de frecuencia promedio de interruptores momentáneas.
CB: interruptor de potencia.
ACR: Reconectado automático.
OC: Fusesaver conectado en serie con un fusible.
OCO: Fusesaver sin fusible pareja.
FS: Fusesaver.
LiMnO₂: Batería primaria de larga duración.
SCADA: Suspensión control y adquisición de datos.
USB: Bus universal en serie.
RCU: Unidad de control remoto.

1.1.3 DEFINICIONES.

Interrupción: Se considerará como interrupción toda falta de suministro de energía eléctrica en el punto de entrega al usuario.

Interrupción Momentánea: Son aquellas interrupciones que tienen una duración limitada hasta de tres (3) minutos, el cual es el tiempo requerido para restablecer los dispositivos de control y protección.

Interrupción Sostenida: Cualquier interrupción no clasificada como momentánea.

Nodo de Carga: Es el punto donde se unen varios elementos de la red, donde se encuentran conectados usuarios de Media o Baja Tensión.

Normas: Las presentes Normas de Calidad del Servicio de los Sistemas de Distribución.

Tensión Nominal: Es el valor Eficaz de la tensión eléctrica, en sus diferentes niveles de tensión establecidos por la norma ANSI C84.1, que sirve como base para calcular las desviaciones de los parámetros eléctricos que se controlarán para medir la calidad de servicio eléctrico de distribución, que prestan los distribuidores.

Área de densidad de carga: Es el área geográfica comprendida dentro de un cuadrado de un kilómetro por lado, de forma que para una empresa distribuidora las áreas de densidad de carga no se traslapen entre sí, debiendo contener en su conjunto a la totalidad de la red eléctrica y usuarios de la distribuidora.

Área de densidad de carga alta: Es aquella área de densidad de carga que contiene al menos mil habitantes o en donde la demanda de energía eléctrica de los usuarios es al menos 250 kilowatts, y que además se encuentre en una región que aglomere al menos 10 áreas contiguas que bajo los dos parámetros antes indicados puedan ser clasificadas como áreas de densidad de carga alta. Por otra parte, independientemente al resultado de la aplicación de los criterios antes señalados, en las metodologías de control de las presentes normas se podrán definir excepciones para que áreas adicionales también sean consideradas de alta densidad de carga.

Área de densidad de carga baja: Es aquella área de densidad de carga que no ha sido definida como un área de densidad de carga alta.

1.1.3.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL SALVADOR.

Actualmente y en los últimos años se han ido añadiendo al sistema de generación nacional y regional diferentes fuentes de energía eléctrica tales como la eólica, biomasa, fotovoltaica etc, tal y como podemos ver reflejado en la matriz energética actualizada al 4 de abril de 2022 dando una tendencia hacia el alza de la producción de energía renovable.

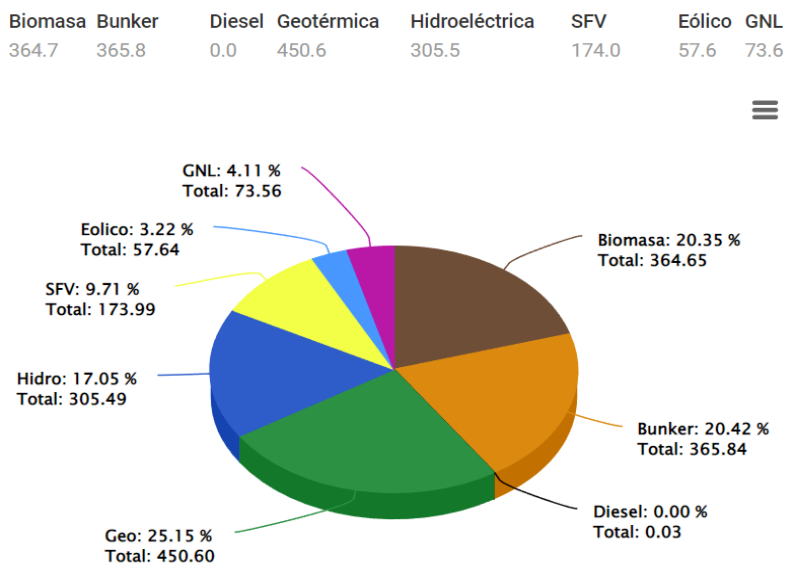


Figura 1: Matriz energética de El Salvador actualizada en abril del 2022

Además, con los datos del Consejo Nacional de energía CNE, podemos observar una tendencia hacia el alza de demanda energética la cual podemos adjudicar a equipos nuevos conectados a la red y a nuevos clientes que se añaden a la red de distribución, haciendo de suma importancia para una red en crecimiento tener una manera más eficaz de despejar fallas transitorias y trasladar dicha red al concepto de SmartGrid.

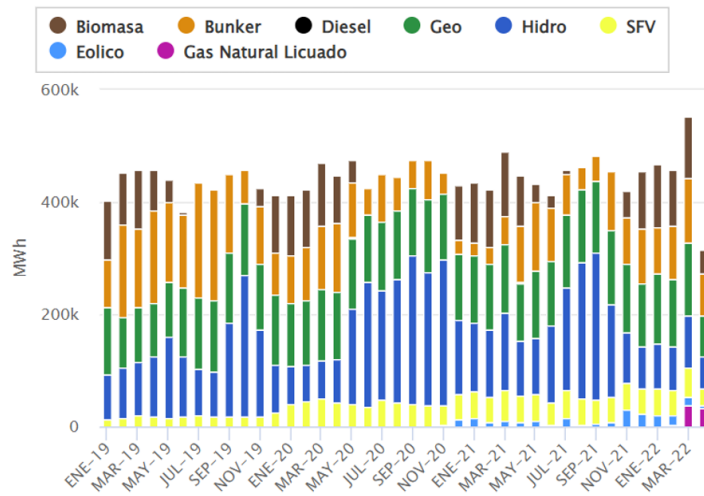


Figura 1.2 Grafica de generación de El Salvador.

La generación en nuestro país se podría dividir en 3 partes, la primera sería la parte de generación que se subdivide según la naturaleza del proceso de donde provenga esta misma ya sea hidráulica, fotovoltaica, fósil, etc. A una tensión variable según el tipo de generación, posteriormente esta tensión se eleva a valores entre 115 y 220kV para tramos largos y la conexión regional de la que somos parte, que parte desde Panamá hasta México, luego se pasa nuevamente por otro transformador el cual nuevamente modifica la tensión transformandola a niveles de tensión en distribución de 46kV o 23kV que sería la segunda parte y finalmente llegando a sub estaciones de las distribuidoras como parte final que nuevamente modifica el nivel de tensión para uso industrial y residencial con su respectivo transformador según la tensión y potencia demandada que el cliente final requiera.

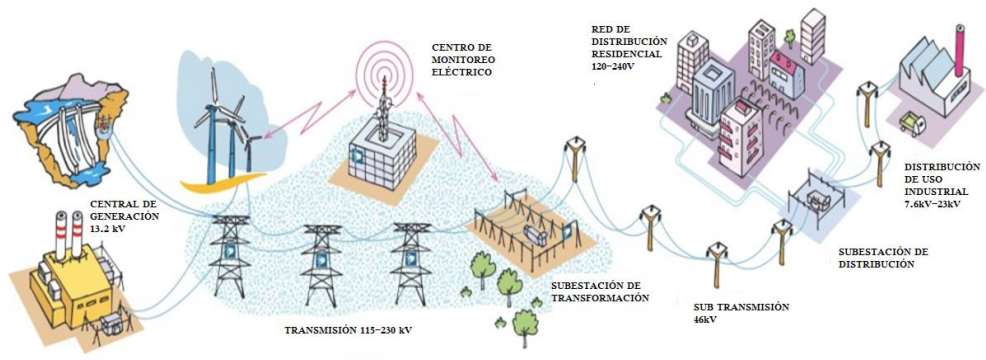


Figura 1.3 Red de distribución

SISTEMA ELÉCTRICO REGIONAL

CENTRO REGIONAL DE COORDINACIÓN DE TRANSACCIONES

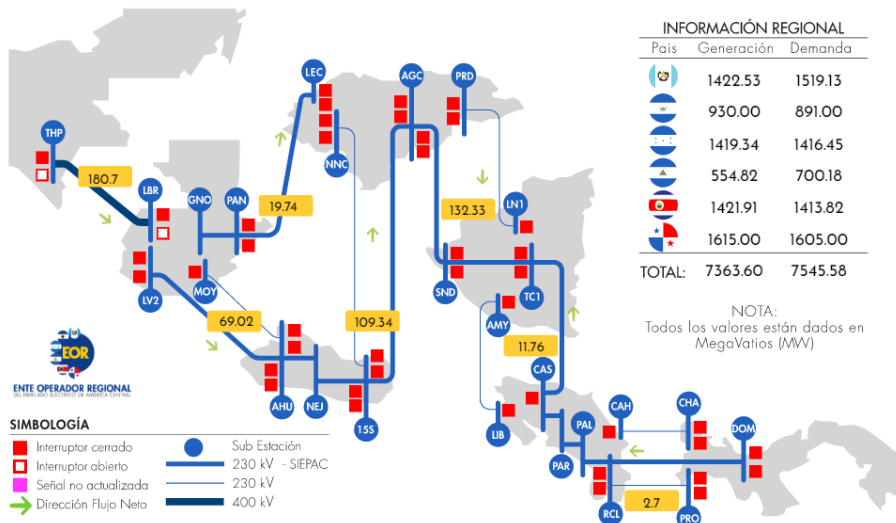


Figura 1.4 flujo de potencia de sistema eléctrico regional

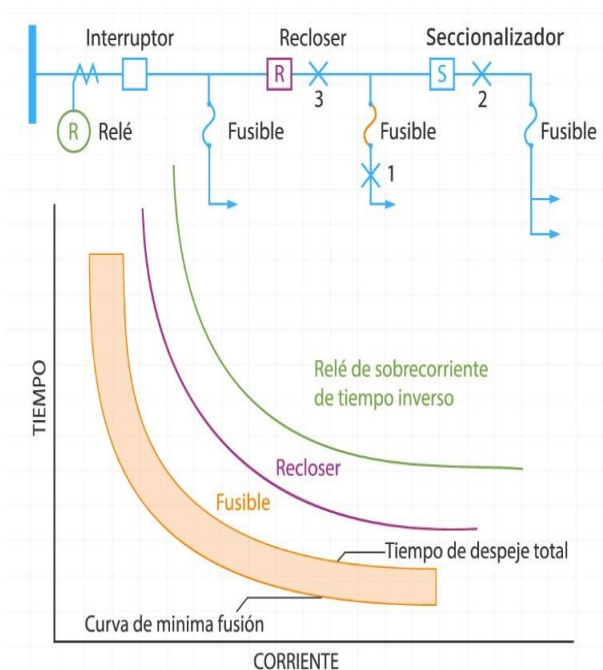


Figura 1.5 Esquina de protecciones en sistemas de distribución.

Podemos observar en la imagen la distribución básica de nuestro sistema de distribución en MT , con los dispositivos más comúnmente utilizados , los cuales, más adelante se describirán con mayor detalle, sin embargo es de resaltar que contamos con un sistema de distribución radial donde el dispositivo de protección mayormente utilizado es el fusible de expulsión el cual no cuenta con ningún tipo de configuración, telemetría ni incorporación a Smartgrid, por lo que no distingue entre fallas transitorias y permanentes.

1.1.3.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y TIPOS DE INTERRUPTORES EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

Una interrupción es un evento durante el cual la tensión, en el punto de entrega del cliente, cae a cero y no se restablece el servicio eléctrico automáticamente. De acuerdo con la IEC, el tiempo mínimo de una larga interrupción es de 3 minutos. Si el tiempo es menor a 3 min. se denomina corta interrupción.

Los estándares de la IEEE definen como interrupciones sostenidas a aquellas que duran más de 3 segundos [Std.1159] [1] o más de 2 min. [Std.1250]. [2]

De acuerdo a su origen, las interrupciones se pueden clasificar en dos grandes grupos: Interrupciones Programadas, Interrupciones transitorias y momentáneas

Interrupciones programadas Son aquellas j se avisan con la suficiente anticipación a los clientes. Están claramente definidas en los marcos regulatorios de la mayoría de los mercados abiertos Interrupciones imprevistas Son todas las que no se contemplan en la clasificación anterior.

1.1.4 INDICADORES GLOBALES:

SAIFI: Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema (interrupciones /usuarios del sistema /año)

$$SAIFI = \frac{\sum_i^N Usu_i}{Usu_T}$$

Donde:

N: Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio

i: Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N

Usu_i: Número de Usuarios Afectados por la Interrupción “*i*”

Usu_T: Número Total de Usuarios de la Empresa Distribuidora

SAIDI: Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema (horas/ usuarios del sistema /año):

$$SAIDI = \frac{\sum_i^N Dur_i Usu_i}{Usu_T}$$

N: Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio

i: Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N

Dur_i: Duración de la Interrupción “*i*”

Usu_i: Usuarios Afectados por la Interrupción “*i*”

Usu_T: Usuarios Totales de la Empresa Distribuidora

1.1.5 INDICADORES INDIVIDUALES:

SAIFIUS: Índice de Frecuencia de Interrupción por Usuario (interrupciones /usuario /año):

$$SAIFI_{US} = \sum_i^N \text{interrupciones}$$

Donde:

N = Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio.

i = Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N.

SAIDIUS: Índice de Duración de Interrupción por Usuario (horas /usuario /año):

$$SAIDI_{US} = \sum_i^N Tiempo(i)$$

N = Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio.

i = Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N.

CAIFI: Índices de Frecuencia de Interrupción Promedio al Usuario Afectado (interrupciones / usuarios afectados / año):

$$CAIFI = \frac{\sum_i^N I_i}{\sum_i^N M_i}$$

I: Número de interrupciones, ocurridas en el período de estudio para el nodo de carga *i*.

M_i: Número de usuarios Afectados al nodo de carga *i*.

N: Número de total de nodos de carga,

i: Contador de número nodos de carga, variando de 1 a N

Los usuarios afectados deben contarse solo una vez, independientemente del número de interrupciones que ellos pueden tener en un año. Este índice se usa particularmente cuando el año calendario es comparado con otro año calendario, dado que, en cualquier año calendario, no todos los usuarios pueden ser afectados y muchos de ellos pueden tener continuidad en el servicio.

CAIDI. Índice de Duración de Interrupción Promedio por Usuario afectado (horas/ interrupción del usuario).

$$CAIDI = \frac{\sum_i^N Dur_i Usu_i}{\sum_i^N Usu_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

N: Número de total de interrupciones,

i: Contador de número de interrupciones, variando de 1 a N.

Usu_i: Número de Usuarios Afectados por la Interrupción “*i*”.

Dur_i: Duración de interrupciones, ocurridas en el período de estudio.

ASAI: El Índice promedio de disponibilidad del servicio (ASAI= **Average Service Availability Index**) es un índice de confiabilidad comúnmente utilizado por las empresas de servicios públicos de energía eléctrica . ASAI se calcula como

$$ASAI = \frac{\sum Ni * 8760 - \sum U_i Ni}{\sum Ni * 8760}$$

Donde *N_i* es el numero de clientes y *U_i* es el tiempo de interrupción anual (en horas) para la ubicación *i*. ASAI se puede representar en relación con SAIDI (cuando el SAIDI anual se da en horas).

$$ASAI = 1 - \frac{SAIDI}{8760}$$

Indicador	Tipo	Unidad	Densidad de carga alta	Densidad de carga baja
SAIFI	Global	Cantidad de Interrupciones/año	7	12
SAIDI	Global	Horas de interrupción / año para cada usuario	14	24
SAIFIus	Individual	Cantidad de Interrupciones/año para cada usuario	8	15
SAIDIus	Individual	Horas de interrupción / año	16	30
CAIFI	Individual	Cantidad de Interrupciones/año por usuario afectado	14	18

Tabla 1.1: Límites de los indicadores de calidad en las empresas de distribución según SIGET

Nivel de Tensión	ΔV_k		
	Densidad de carga alta	Densidad de carga baja	Aislado
Baja Tensión ($\leq 600V$)	$\pm 7\%$	$\pm 8\%$	$\pm 8.5\%$
Media Tensión ($600V < V < 115kV$)	$\pm 6\%$	$\pm 7\%$	$\pm 8.5\%$

Tabla 1.2 Límites permisibles de tensión según SIGET

USRE: Reposición del Suministro Después de un Reclamo ante una Interrupción.

En los casos en que un usuario final sufra una interrupción sostenida y efectúe un reclamo por falta de energía, la distribuidora debe reponer el suministro en los tiempos que se indican a continuación, los que se miden en horas corridas desde el momento que la distribuidora haya tomado conocimiento de la interrupción por medio del reclamo realizado por el usuario afectado hasta que le dé solución al mismo. Salvo cuando la interrupción se deba a trabajos programados o interrupciones externas al sistema de distribución.

Etapas de implementación	Régimen
Area Geografica	Límite Admisible
Densidad demografica Alta	3 horas
Densidad demografica Media	4 horas
Densidad demografica Baja	8 horas

Tabla 1.3: Límites USRE

1.1.6 CURVA DE TIEMPO-CORRIENTE DE LA PROTECCIÓN DEL FUSESAVER

Actualmente en la mayoría de redes de distribución se siguen utilizando protecciones convencionales en los circuitos radiales, refiriéndonos a convencionales específicamente a los fusibles de expulsión, colocados aguas abajo de recloser, Interruptores de potencia, seccionadores automáticos o manuales, o combinaciones de estos según la necesidad de la red en específico los cuales se detallan más adelante con sus ventajas y desventajas respectivamente.

Para la detección de fallas se aplica un algoritmo de protección de alta velocidad, el cual es capaz de detectar fallas dentro de un tiempo de 2 milisegundos. En el primer disparo el Fusesaver puede despejar la falla en el primer medio ciclo de ser necesario. El algoritmo que se utiliza de forma predeterminada es una curva de protección inversa basada en un valor i^2t .

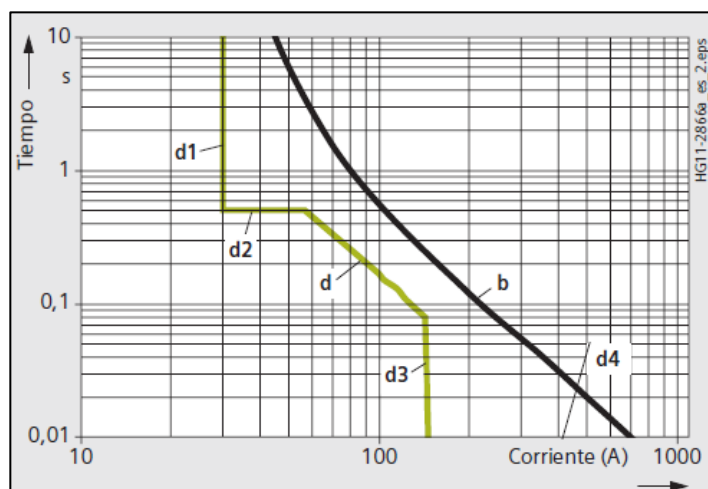


Figura 1.6 Fusesaver con fusible pareja tipo K

Partes de la gráfica y su descripción.

b: Fusible tipo K de 15 A.

d: Fusesaver ajustado para ser coordinado con fusible de 15^a tipo K.

d1: Multiplicador de corriente mínima de disparo(x2).

d2: Tiempo máximo de falla (0.5).

d3: Multiplicador instantáneo(x10).

d4: Ajuste tiempo mínimo de falla (Desconexión).

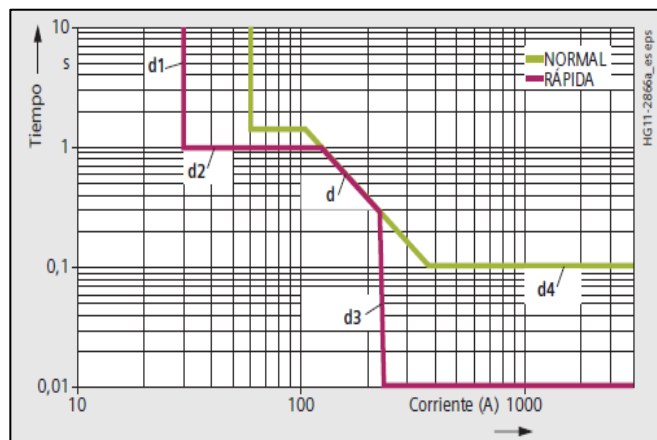


Figura 1.7 Fusesaver como sustituto de fusible
curva tiempo-corriente

d1: Multiplicador de corriente mínima de disparo($x2/x1$).

d2: Tiempo máximo de falla (1.5/1).

d: Fusesaver sustituye un fusible 30A de tipo K.

d3: Multiplicador instantáneo($x20/x8$).

d4: Ajuste tiempo mínimo de falla (0.1/Desconexión).

Cuando el Fusesaver está conectado en serie con un fusible pareja, el algoritmo debe asegurar que la falla queda eliminada antes de que el fusible comience a fundirse, en la configuración se define el tipo de fusible que está salvando, así como la potencia manejada.

Por otro lado, cuando el Fusesaver está conectado para trabajar sin fusible y de esta manera sustituirlo con la secuencia apertura-cierre-apertura, el valor de i^2t de la curva inversa debe ajustarse lo más aproximadamente a la asignada para el fusible que reemplaza.

El Fusesaver tiene almacenadas dos diferentes curvas de protección **Normal** y **Rápida**.

Multiplicador de corriente mínima de disparo:

El multiplicador de corriente mínima de disparo es un múltiplo de la potencia del fusible y ajusta el nivel de reacción para la funcionalidad de protección. Este es el nivel de corriente por encima del cual el Fusesaver detecta una falla. Por ejemplo, si el Fusesaver está ajustado a un fusible de 12 A y se ha seleccionado un nivel de disparo mínimo de $x3$, cualquier corriente inferior a 36 A no será reconocida como falla.

Ajuste de tiempo máximo de falla:

Una vez que la corriente haya superado el nivel mínimo de disparo, el Fusesaver detectara la falla y se disparara sobre una base de tiempo inverso para salvar el fusible. Sin embargo, si la protección de tiempo inverso no ha disparado al Fusesaver antes del alcanzarse el tiempo máximo de falla, entonces el Fusesaver se disparará.

Ajuste de tiempo mínimo de falla:

Una vez que la corriente haya superado el nivel mínimo de disparo, el Fusesaver detectara la falla y se disparara sobre una base de tiempo inverso para salvar el fusible. Sin embargo, el Fusesaver no se disparará antes de haberse alcanzado el tiempo mínimo de disparo.

Ajuste de disparo instantáneo:

El Fusesaver opera en base a una curva de tiempo inverso para adaptarse al fusible que está protegiendo. Sin embargo, el Fusesaver también puede ajustarse para disparo instantáneo en caso de fallas por encima de un cierto nivel. La protección instantánea del Fusesaver funciona como múltiplo de la potencia del fusible. Así, por ejemplo, si la potencia del fusible es de 10 A y el multiplicador instantáneo está ajustado a x5, el Fusesaver se disparará al instante en caso de fallas superiores a 50 A.

Ajuste de tiempo muerto:

El tiempo muerto define el periodo después de que el Fusesaver TM se ha disparado por una falla y antes de cerrar. En general, cuanto más largo sea el tiempo muerto, tanto mayor será la oportunidad de que una falla transitoria sea eliminada por la actuación del Fusesaver.

Protección de bloqueo de cierre trifásico:

Si todos los Fusesavers en una línea están equipados con módulos de comunicaciones, es posible configurarlos de manera que, si cualquiera de ellos detecta una falla permanente, las tres fases se dispararán y permanecerán disparadas. Las dos opciones son:

- BLOQUEO DE CIERRE trifásico DESACTIVADO, este es el modo predeterminado.
- BLOQUEO DE CIERRE trifásico ACTIVADO.

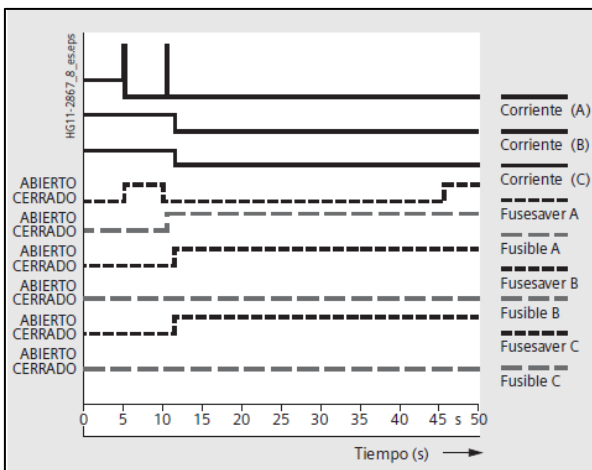


Figura 1.8: Fusesaver O-C con fusible

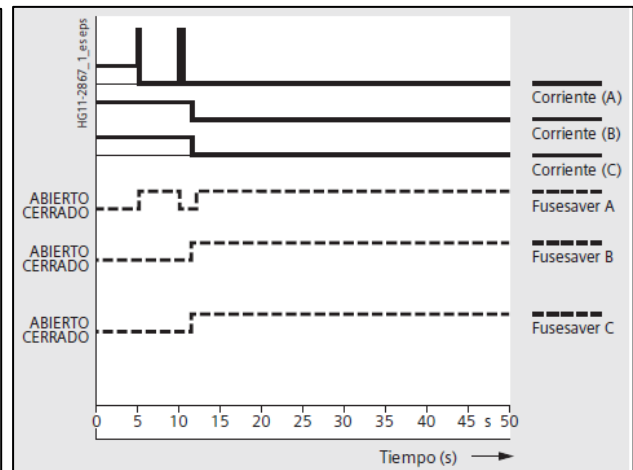


Figura 1.9: Fusesaver O-CO

1.1.7 PROTECCIÓN DE DISPARO TRIFÁSICO FALSO.

Si todos los Fusesaver en una línea están equipados con módulos de comunicaciones, es posible configurarlos de manera que, si cualquiera de ellos detecta una falla y se dispara, las otras dos fases se dispararan poco después. Entonces, las tres fases volverán a cerrar simultáneamente después del tiempo muerto del Fusesaver que se disparó el primero. Esta característica puede utilizarse para bloquear corrientes de alimentación inversas en un circuito de carga en delta.

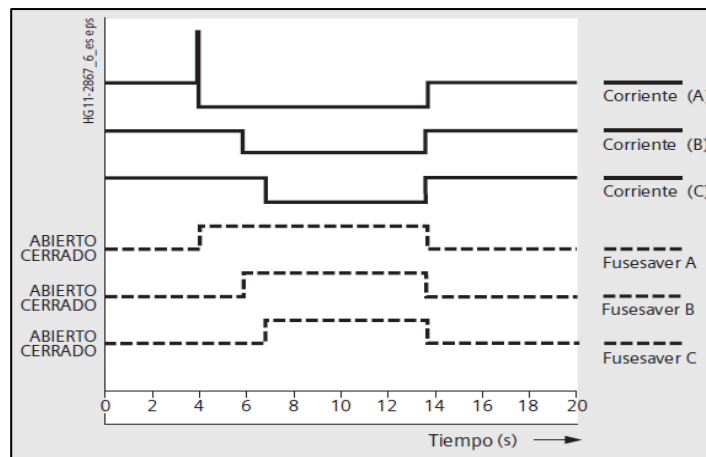


Figura 1.10: Protección disparo trifásico falso

1.1.8 MODOS DE PROTECCIÓN

La operación de la protección del Fusesaver puede ser alterada cambiando el modo de protección. Los modos disponibles dependen de si el Fusesaver se utiliza con un fusible pareja o como sustitución del fusible. Además, el Fusesaver almacenara una selección de modos aplicable en función de si la palanca externa esta ARRIBA o ABAJO, para permitirles a los usuarios ajustarse a diferentes requisitos operacionales cuando un equipo de mantenimiento de líneas este trabajando aguas abajo del Fusesaver. El modo de protección en vigor está determinado como sigue:

- Si la palanca externa está en la posición ARRIBA, los ajustes de palanca ARRIBA están en vigor. Esto representa la maniobra usual esperada del Fusesaver.
- Un operador local tira de la palanca externa hacia abajo. En este caso, la protección del Fusesaver se cambia a un modo predeterminado por el usuario para esta situación.
- Un operador remoto ajusta el modo utilizando un sistema

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition = Supervision, Control y Adquisición de Datos). En este caso, debe haber instalada una RCU.

d) Un operador local utiliza un panel de mando en una RCU para ajustar el modo.

Modo	O-C	O-CO	Funcionalidad
Protección DESCONECTADA	SI	SI	El Fusesaver no se dispara en caso de falla.
Normal	SI	NO	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva NORMALES y vuelve a cerrar después del tiempo muerto.
Rápido	SI	NO	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva RÁPIDOS y vuelve a cerrar después del tiempo muerto.
Normal-normal	NO	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva NORMALES. El Fusesaver vuelve a cerrar después del tiempo muerto. Si la falla sigue existiendo, el Fusesaver se dispara por segunda vez en base a los ajustes de curva NORMALES y entonces permanece en estado abierto.
Normal-rápido	NO	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva NORMALES. El Fusesaver vuelve a cerrar después del tiempo muerto. Si la falla sigue existiendo, el Fusesaver se dispara por segunda vez en base a los ajustes de curva RÁPIDOS y entonces permanece en estado abierto.
Rápido-normal	NO	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva RÁPIDOS. El Fusesaver vuelve a cerrar después del tiempo muerto. Si la falla sigue existiendo, el Fusesaver se dispara por segunda vez en base a los ajustes de curva NORMALES y entonces permanece en estado abierto.
Rápido-rápido	NO	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva RÁPIDOS. El Fusesaver vuelve a cerrar después del tiempo muerto. Si la falla sigue existiendo, el Fusesaver se dispara por segunda vez en base a los ajustes de curva RÁPIDOS y entonces permanece en estado abierto.
Normal singular	SI	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva NORMALES. El Fusesaver no vuelve a cerrar y permanece en estado abierto.
Rápido singular	SI	SI	El Fusesaver se dispara en base a los ajustes de curva RÁPIDOS. El Fusesaver no vuelve a cerrar y permanece en estado abierto.

Tabla 1.4: tipos de funcionalidades de un Fusesaver

1.1.9 CONDICIONES AMBIENTALES.

El Fusesaver es adecuado para su utilización en exteriores con temperaturas del aire ambiente entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa entre el 0 % y el 100%.

1.1.10 NÚMERO DE CICLOS DE MANIOBRA

El Fusesaver es libre de mantenimiento para 2.000 ciclos de maniobra.

El Fusesaver ha sido sometido a ensayos de tipo para 70 operaciones de corte en cortocircuito con 4 kA.

Tipo de Modelo		Gama Baja	Gama Estándar	Gama Alta
Corriente de línea mínima de operación	A	0.15	0.5	1
Corriente asignada del fusible	A	2 a 20	5 a 50	5 a 100
Corriente asignada	A	40	100	200
Corriente asignada de corto circuito isc	Tabla 1.5: Capacidades según gama de producto.		4	4
Corriente asignada de cierre en corto circuito Ipeak	kA	3.75	10	10
Corriente asignada de corta duración	kA	1.5	4	4
Duración de la corriente asignada de corta duración	s	0.2	0.2	1
Operaciones de corte de falla al 100%	N	300	70	70

Tabla 1.6: Características de un fusesaver.

Fusesaver	
Mecanismo de funcionamiento	Actuador magnético
medio de corte	Tubo de maniobra al vacío
indicador de posición	ABIERTO: verde f CERRADO: rojo
Sensores	transformadores de corriente integrados
Dispositivo para montaje	Abrazadera de fijación a la línea incluyendo protección contra aves (recomendad)
	Dispositivo para montaje en poste incluyendo protección contra fauna y flora (recomendada)
	Dispositivo para montaje en cruceta incluyendo protección contra fauna y flora (recomendada)
Comunicación	con módulo de comunicaciones opcional
software para operación y configuración	siemens connect
Herramientas	herramienta para montar el módulo de comunicaciones
Accesorios f piezas de repuesto	pueden suministrarse una amplia gama de accesorios y piezas de repuesto (véase selección de en la página 30)

Tensión asignada	kV	15.5	27
Tensión soportada asignada de impulso tipo rayo Up	kV	110	125
Tensión soportada asignada a frecuencia industrial ud (60s)	kV	50	60

Tabla 1.2: Tensiones de operación.

CAPITULO II: ASPECTOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE UN FUSESAVER.

2.1 DISEÑO DE UN FUSESAVER.

El sistema Fusesaver.



Figura 2.1: Instalación de Fusesaver en Mejicanos, San Salvador

Con el fin de reducir los gastos de montaje y operación, el Fusesaver de Siemens ha sido desarrollado como parte de un sistema integrado de herramientas y accesorios. Haciendo más rápida la puesta en servicio y mejorando la fiabilidad bajo cualquier tipo de condiciones.

Un montaje de Fusesaver típico incluye los equipos siguientes para cada fase:

1. Fusesaver
2. Abrazadera de fijación a la línea
3. Protección contra aves
4. Módulo de comunicaciones.

2.1.1 DISEÑO DE LA UNIDAD DE INTERRUPTOR

El fusesaver es una unidad totalmente integrada que consiste en un tubo de maniobra al vacío accionado por un actuador magnético. Los transformadores de corriente

integrados alimentan al fusesaver y ofrecen entradas de medición de corriente al módulo incorporado de control y protección.

El aislamiento externo es de caucho de silicona de alta calidad, y la caja del mecanismo es de aluminio de calidad marina para una larga vida útil en exteriores.

2.1.2 AUTOALIMENTACIÓN.

El Fusesaver es capaz de autoalimentarse en base a las mínimas corrientes de línea que se encuentran en redes rurales aéreas. El Fusesaver se fabrica en tres modelos, el modelo de gama baja no precisa más de 0.15A de corriente de línea para alimentar el fusesaver.

2.2.3 COMPONENTES INTERNOS DE UN FUSESAVER.

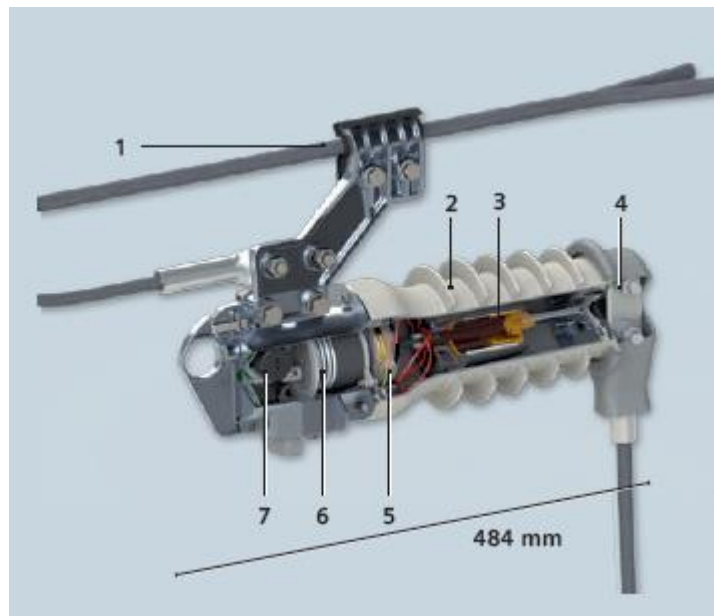


Figura 2.2: componentes internos de un Fusesaver

1. terminal muerto
2. Transformador de corriente para detección de fallas
3. Tubo de maniobra al vacío
4. Protección contra aves (opcional)
5. Transformador de corriente de potencia
6. Actuador magnético.

7. Modulo electrónico.

2.2.4 TUBO DE MANIOBRA AL VACÍO.

El Fusesaver confía en la acreditada tecnología de los tubos de maniobra al vacío de siemens. El tubo de maniobra al vacío empleado en el Fusesaver es una innovación específica de siemens para facilitar la interrupción de fallas en medio ciclo necesaria para poder salvar los fusibles con éxito.

2.2.5 ACTUADOR MAGNÉTICO.

El actuador magnético es otra innovación específica de Siemens desarrollada para el Fusesaver con el fin de ofrecer también una capacidad de interrupción de medio ciclo. El actuador magnético puede desengatillarse en menos de 2 ms y puede tener los contactos del tubo de maniobra al vacío abiertos en otros 4 ms. El actuador magnético este acoplado directamente al indicador de posición visible desde el suelo.



Figura 2.3: Indicador de posición del Fusesaver.

2.3 COMPONENTES EXTERNOS DE UN FUSESAVER.

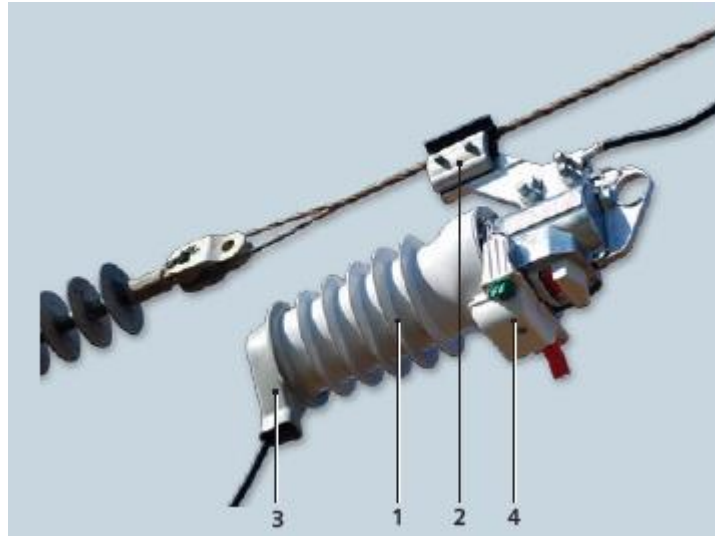


Figura 2.4: componentes externos de un fusesaver

1. Fusesaver
2. Abrazadera de fijación a la línea
3. Protección contra aves
4. Módulo de comunicaciones

2.3.1 PALANCA EXTERNA.

El Fusesaver va equipado con una palanca externa que le permite al operador cambiar la protección y otros parámetros operacionales del Fusesaver. Si la palanca está en la posición arriba, los ajustes de palanca arriba están en vigor.

Si un equipo de mantenimiento de líneas tiene que trabajar aguas abajo del fusesaver, puede tirar de la palanca externa hacia abajo para cambiar la función del Fusesaver de acuerdo con los ajustes de palanca abajo. Típicamente, estos ajustes

alternativos serian o bien desconectar la protección, o bien establecer un modo de protección para un disparo rápido singular con protección de medio ciclo



Figura 2.5: Fusesaver sostenido con el brazo externo

2.3.2 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN EN MEDIA TENSIÓN DE UN FUSESAYER.

Opciones de montaje del Fusesaver.

El Fusesaver es un dispositivo independiente de potencial eléctrico, así que no precisa puesta a tierra. Esta arquitectura del producto permite varias opciones de montaje diferentes. En todos los casos, el Fusesaver ha sido diseñado para montaje horizontal.

Montaje en la línea.

El método de montaje preferente para el Fusesaver es colgarlo directamente de la línea usando la abrazadera de fijación a la línea. La abrazadera de fijación de la línea está conectada directamente al terminal muerto del conductor y garantiza que el Fusesaver

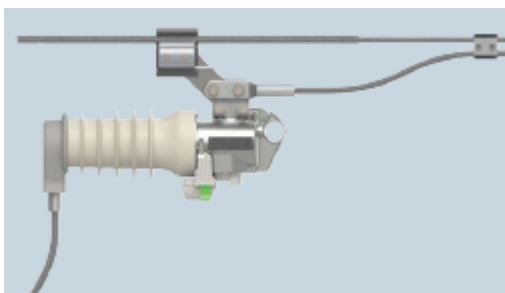


Figura 2.6: montaje en línea.

este colgado por su centro de gravedad. Un cable conecta los terminales del fusesaver al conductor.

Montaje en cruceta o en poste.

Para cuando no sea practicable instalar el fusesaver en la línea, una alternativa es usar una cruceta o en el poste, para soportar el Fusesaver se emplea un aislador de apoyo compuesto para subestaciones, con clips terminales especiales.



Montaje en cruceta.



montaje en poste.

Figura 2.7: montaje en cruceta y montaje en poste

2.4 CONFIGURACIÓN.

2.4.1 MÓDULO DE COMUNICACIONES.

El módulo de comunicaciones se enchufa en un conector tripolar en la parte inferior del Fusesaver y ofrece una conexión inalámbrica de corto alcance entre el Fusesaver y otros dispositivos. También dispone de una batería integrada. El módulo le permite al equipo de línea interactuar con el Fusesaver de Siemens desde el suelo usando un ordenador portátil. Se puede instalar desde el suelo usando una vara para líneas bajo tensión equipada con una herramienta especial para montar el módulo de comunicaciones.

El módulo de comunicaciones tiene varias utilidades. Se puede:

Instalar temporalmente:

- Durante la puesta en servicio para poder configurar y ensayar el Fusesaver.
- Durante el servicio para poder operar el Fusesaver manualmente, acceder a los datos de la línea y descargar los registros de eventos.
- Para permitir la funcionalidad de apertura-cierre-apertura
- Para permitir la funcionalidad trifásica
- Para mejorar las prestaciones del Fusesaver, reduciendo el tiempo de recarga del condensador e incrementando la precisión del registro de eventos
- Para activar las funciones citadas arriba y también para conectarse a una unidad de control remoto (RCU = Remote Control Unit), integrando el Fusesaver en la red SCADA del usuario.



Figura 2.8: módulo de comunicaciones.

Comunicaciones inalámbricas.

El módulo de comunicaciones incluye un transmisor-receptor inteligente de corto alcance con conexión inalámbrica, el cual activa la comunicación cifrada con el Fusesaver desde el suelo. La conexión inalámbrica usa la banda pública de 2,4 GHz con un protocolo propietario. El alcance efectivo del módulo de comunicaciones depende de la instalación y de las condiciones del sitio. Un alcance típico son 20 m (60 pies) en línea de vista.

Batería.

El módulo de comunicaciones normalmente se alimenta mediante energía extraída de la corriente de la línea por el Fusesaver. El módulo de comunicaciones incluye una batería para disponer de energía para operar la radio del módulo de comunicaciones y para operar el Fusesaver manualmente si la corriente de la línea no está disponible.

LED.

El módulo de comunicaciones dispone de una ventana transparente en la parte inferior, detrás de la cual se encuentra un LED de alta intensidad. Cuando está iluminado, este LED se puede ver desde el suelo a la luz del día. Este LED se utiliza para asistir al operador durante la puesta en servicio y al operar el Fusesaver manualmente.

Disparo y cierre.

El módulo de comunicaciones va equipado de actuadores exteriores que se pueden usar para disparar o cerrar el Fusesaver. Utilizando las comunicaciones inalámbricas entre los Fusesavers también es posible disparar y cerrar los Fusesavers de forma sincronizada.



figura 2.9: Modulo de comunicaciones-caja de transporte.

2.4.2 SOFTWARE SIEMENS CONNECT.

La comunicación con el Fusesaver se realiza empleando una aplicación especial de PC para el Fusesaver, una antena de radio USB y una radio de corto alcance (aprox. 20 metros) integrada en el módulo de comunicaciones.



Figura 2.10: Fusesaver + módulo de comunicaciones comunican con antena USB

Configuración.

Los Fusesavers se configuran sin cable a través de la aplicación de PC Siemens Connect. Todo lo que necesita hacer el usuario es identificar los Fusesavers a configurar juntos como un sitio determinado, cargar el archivo de política que incluye los ajustes de protección definidos por la compañía eléctrica, e informar al Fusesaver sobre el tipo y la potencia de su fusible pareja. Todo el proceso finaliza en pocos minutos.

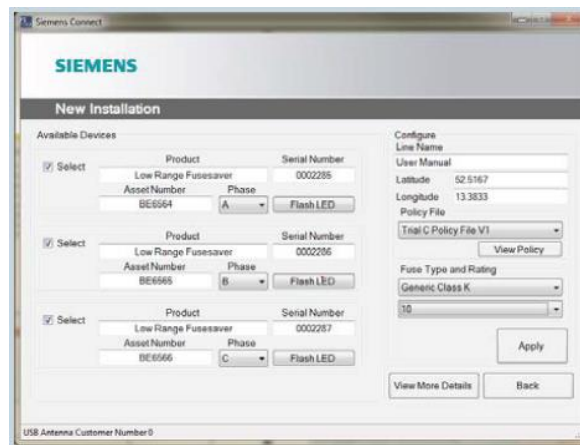


Figura 2.11: configuración del Fusesaver

Operación.

Cuando se encuentra en el sitio correspondiente, el equipo de mantenimiento de líneas puede acceder a los datos operativos en el Fusesaver empleando la aplicación de PC Siemens Connect. Estos datos operativos incluyen:

- Detalles sobre los ajustes de protección en el Fusesaver
- El estado abierto/cerrado del Fusesaver
- La corriente de carga en cada Fusesaver
- El modo de protección activo
- Si la protección está armada
- Detalles sobre la falla más reciente
- Detalles sobre la vida útil del Fusesaver y de la batería
- Estado de las comunicaciones entre los Fusesavers (comunicaciones entre pares).

Los operadores también pueden disparar y cerrar los Fusesavers a través de los mandos del PC.

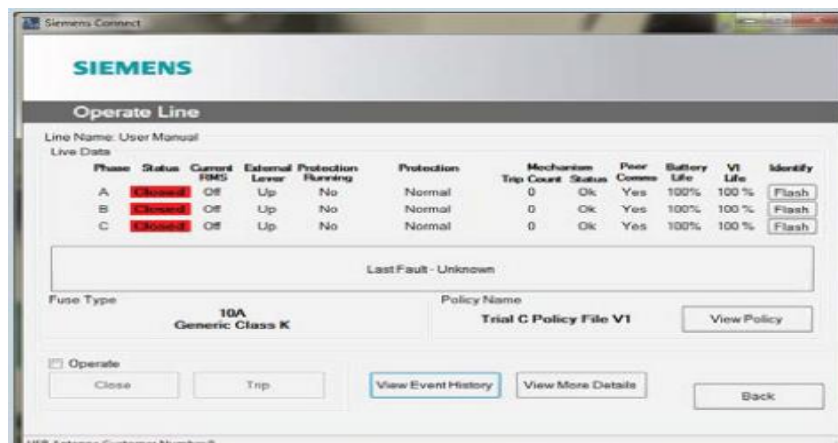


Figura 2.12: Operadores.

Datos de eventos.

El Fusesaver almacena un historial de eventos mayores con sello de tiempo en su memoria integrada. El registro de eventos contiene un historial de hasta 3.000 eventos, incluyendo operaciones de protección, datos de fallas, duraciones de corte de energía y cambios de configuración. Los datos de eventos pueden visualizarse empleando la aplicación de PC Siemens Connect. Los datos se pueden filtrar y exportar tal como se precise.

Datos de perfiles de carga.

El Fusesaver puede recoger datos sobre la corriente que circula en cada fase de una instalación. El Fusesaver puede comunicar los datos siguientes para cada período de 24 horas:

- La corriente mínima (con sello de tiempo)
- La corriente máxima de cresta (con sello de tiempo)
- La corriente media diaria.

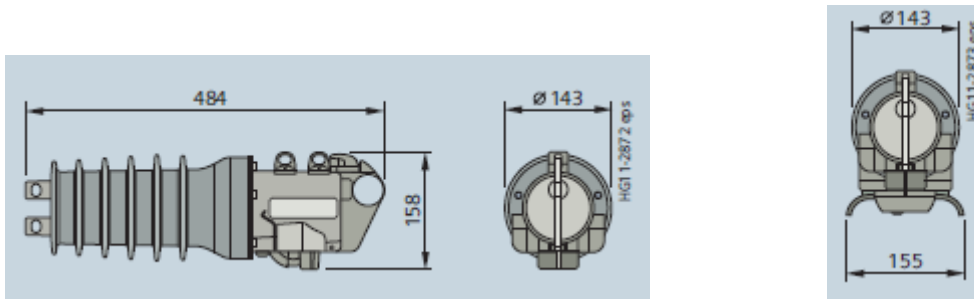
Cada vez que se extrae un registro de eventos del Fusesaver, los datos de perfiles de carga quedan almacenados en el PC. Entonces, el usuario puede mostrar los datos en varios formatos empleando la herramienta Siemens Connect.

2.5 DIMENSIONES Y DATOS TÉCNICOS.

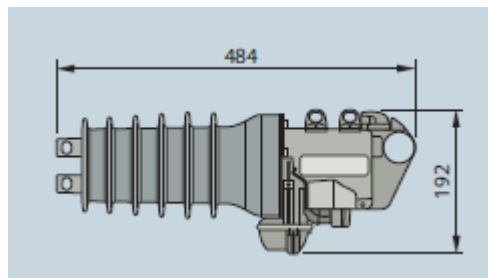
15.5kV														
	corriente asignada en servicio continuo	corriente de línea mínima para operación	corriente asignada del fusible	secuencia de maniobras asignadas a: 0- 2s- CO/O- 1s-C	corriente asignada de corte en cortocircuito	corriente asignada de cierre en cortocircuito	Duración de cortocircuito asignada	operaciones de corte de falla al 100%	operaciones mecánicas	tensión soportada asignada de impulso tipo rayo	tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial	impedancia $\mu\Omega$ entre conexiones	línea de fuga	peso
N° de pedido	I_t	I		t_k	I_s	I_{pea}	t_k			U	U_d			
	A	A	A	s	kA	kA	s	N°	N°	kV	kV	$\mu\Omega$	mm	kg
3AD8234	40	0.15	2-20		1.5	3.75	0.2	300	2000	110	50	11500	438	5.5
3AD8222	100	0.5	5-50		4	10	0.2	70	2000	110	50	8070	438	5.5
3AD8243	200	1	5-100		6.3	16	0.5	30	2000	110	50	390	438	5.5
27kV	I_t	I		t_k	I_{sc}	I_{peak}	t_k			U_p	U_d			
	A	A	A	s	kA	kA	s	N°	N°	kV	kV	$\mu\Omega$	mm	kg
3AD8434	40	0.15	2-20		1.5	3.75	0.2	300	2000	125	60	11500	438	5.5
3AD8422	100	0.5	5-50		4	10	0.2	70	2000	125	60	8070	438	5.5
3AD8443	200	1	5-100		6.3	16	0.5	30	2000	125	60	390	438	5.5

Tabla 2.13: dimensiones y datos técnicos.

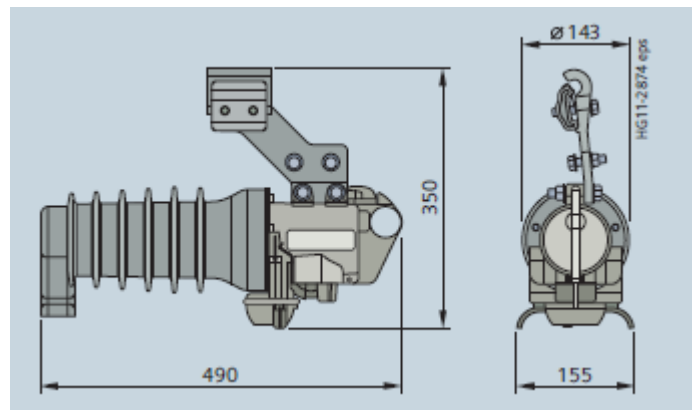
En la tabla 8 se puede observar los datos más comunes de un Fusesaver, o como lo conocemos como ficha técnica de un equipo, para diferentes sistemas de tensión. Como por ejemplo un sistema que soporta 15.5 kV y otro rango de Fusesaver de 27kV. A continuación, se presentan las dimensiones de un Fusesaver.



a)

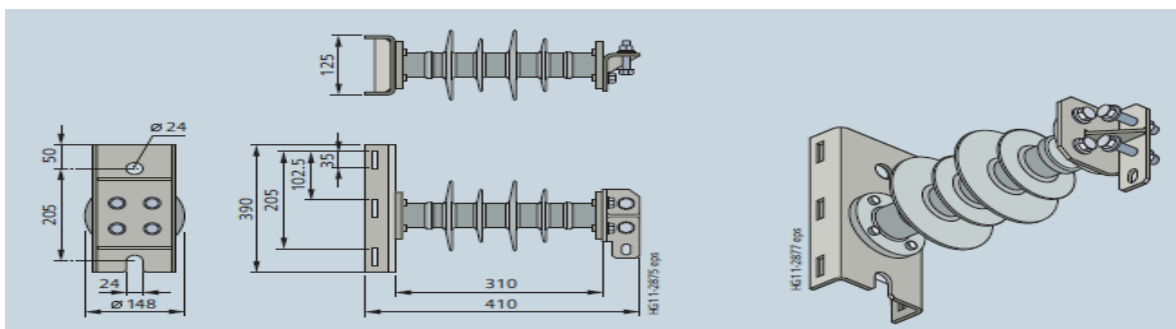


b)

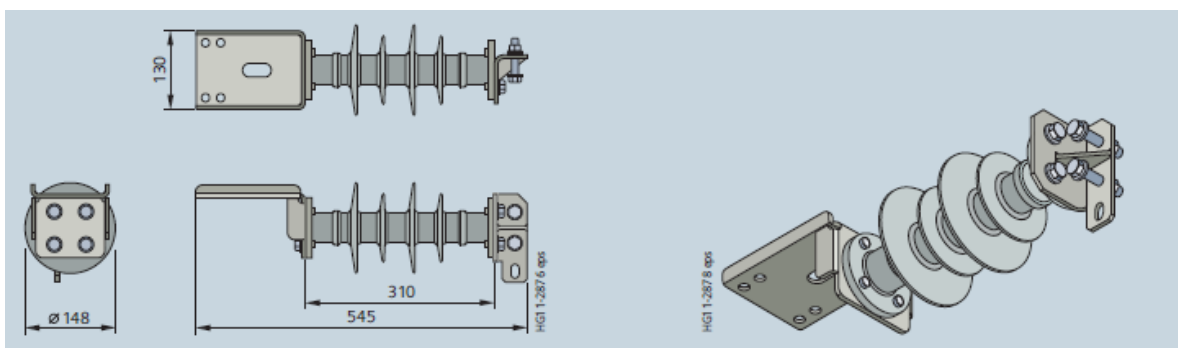


c)

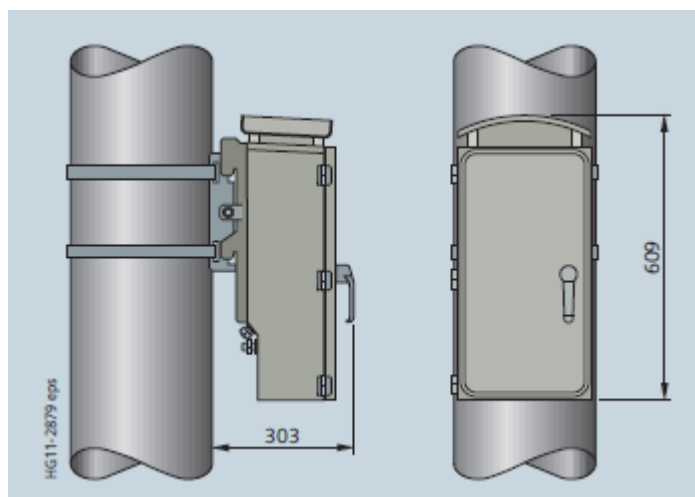
Figura 2.14: dimensiones de Fusesaver, Medidas en mm.



a) Dispositivo para montaje en poste del Fusesaver 15,5 – 27 kV – aislador compuesto



b) Dispositivo para montaje en cruceta del Fusesaver 15,5 – 27 kV – aislador compuesto



c) Unidad de control remoto (RCU)

Figura 2.14: dispositivo de montaje para cruceta y poste, c) unidad de control remoto en poste.

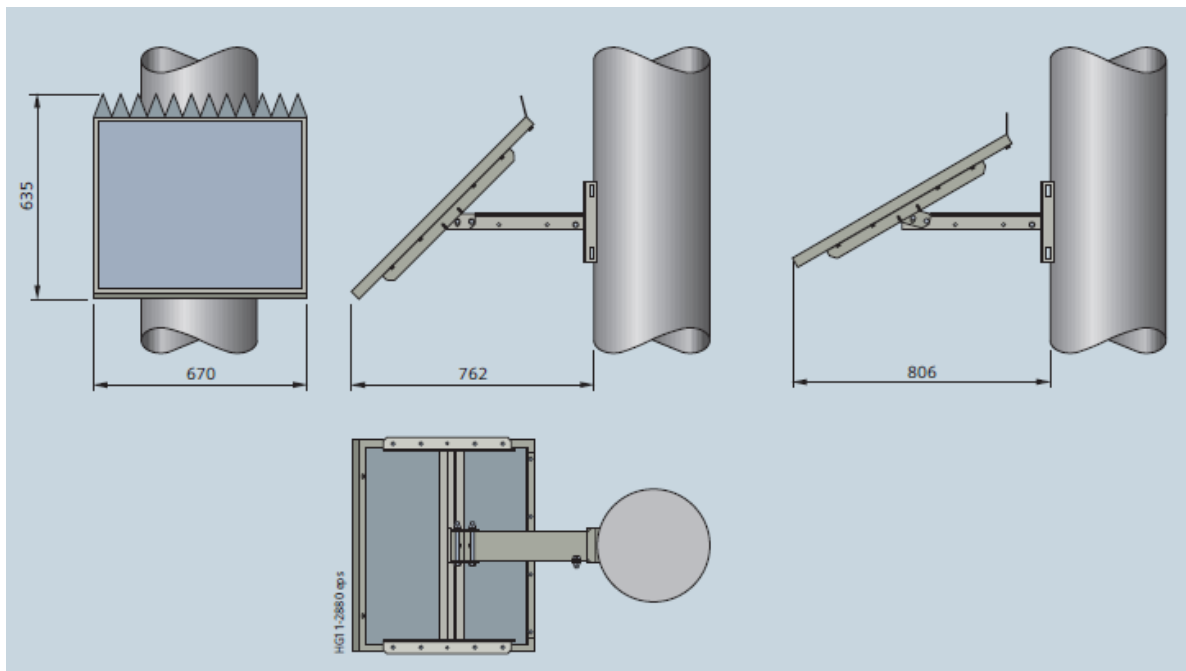


Figura 2.15: Panel solar (opción de alimentación de la RCU)

CAPITULO III: ANÁLISIS DE CURVA DE FUSESAVER Y FUSIBLE TIPO K

3.1.1 FUSIBLE DE MEDIA TENSIÓN

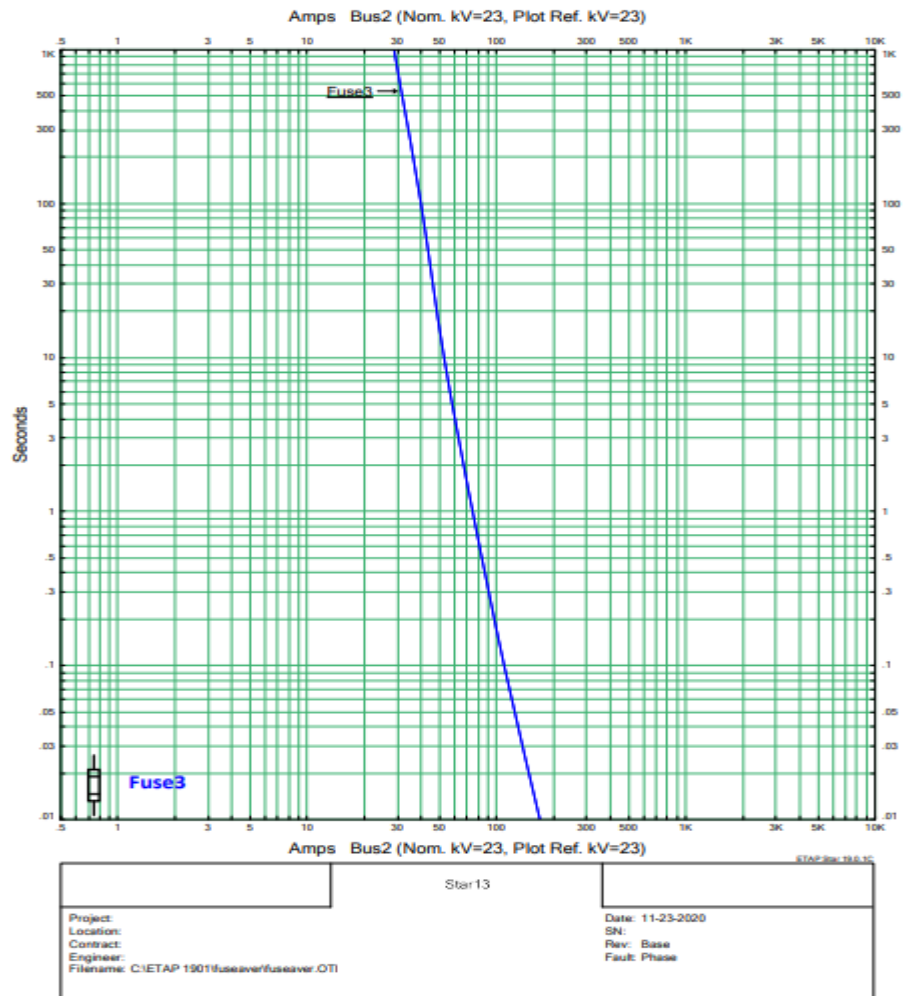


Figura 3.1: curva de fusible de media tensión convencional, generada en ETAP

3.1.2 PAR FUSIBLE-FUSESAVERS 15 A.

A continuación, se presenta una tabla donde se ha tomado puntos de la curva de un fusible convencional de 15 A y una serie de puntos de la curva del Fusesaver siguiendo el criterio de protección según el fabricante.

15A		Fusesaver 15A	
Current	Time	Current	Time
16186.4	0.01641	150	0.0187
7973.89	0.018701	150	0.018701
4812.29	0.021107	150	0.021107
3644.33	0.022796	150	0.022796
3277.8	0.023608	150	0.023608
2930.5	0.0244	150	0.0244
2609.54	0.025194	150	0.025194
2188.4	0.026591	150	0.026591
1840.75	0.028207	150	0.028207
1601.87	0.029713	150	0.029713
1392.6	0.031487	150	0.031487
1156.24	0.034315	150	0.034315
999.176	0.036988	150	0.036988
893.307	0.039511	150	0.039511
782.842	0.043103	150	0.043103
673.798	0.048404	150	0.048404
570.738	0.056407	150	0.056407
471.034	0.069172	150	0.069172
390.697	0.085763	150	0.069172
311.354	0.115076	150	0.069172
254.915	0.152565	150	0.069172
206.63	0.207596	55.3089	0.5
171.56	0.282193	55.3089	0.5
129.921	0.460629	55.3089	0.5
100.477	0.737005	55.3089	0.5
73.8425	1.35912	55.3089	0.5
61.0037	2.0789	55.3089	0.5
55.3089	2.64545	55.3089	0.5
51.0566	3.31296	51.0566	0.5
47.3674	4.1489	47.3674	0.5
44.1209	5.30602	44.1209	0.5
41.6764	6.61833	41.6764	0.5
39.5646	8.26347	39.5646	0.5
37.7103	10.5154	30	0.5
36.4862	13.0768	30	13.0768
35.4433	17.0618	30	17.0618
34.7415	22.128	30	22.128
34.2928	28.046	30	28.046
33.9515	37.2573	30	37.2573

20A		Fusesaver 20A	
Current	Time	Current	Time
16154	0.016504	16089.5	0.01829
9292.17	0.018294	200	0.018294
6876.93	0.019798	200	0.019798
5223.53	0.021706	200	0.021706
4482.46	0.022705	200	0.022705
4072.16	0.02349	200	0.02349
3597.26	0.024303	200	0.024303
3225.77	0.025093	200	0.025093
2907.15	0.025909	200	0.025909
2565.55	0.026993	200	0.026993
2257.31	0.028406	200	0.028406
1954.57	0.030102	200	0.030102
1603.47	0.032805	200	0.032805
1387.04	0.034904	200	0.034904
1236.36	0.037099	200	0.037099
1132.21	0.039001	200	0.039001
1039.95	0.041206	200	0.041206
926.979	0.044997	200	0.044997
839.604	0.049087	200	0.049087
748.395	0.05529	200	0.05529
667.761	0.062777	200	0.062777
566.191	0.075837	200	0.075837
503.172	0.089085	200	0.07537
437.436	0.107296	200	0.07537
376.882	0.133032	200	0.07537
326.991	0.165107	200	0.07537
278.364	0.211578	200	0.07537
241.032	0.266558	200	0.075837
212.498	0.33182	85.1091	0.5
179.815	0.446569	85.1091	0.5
154.459	0.59146	85.1091	0.5
127.094	0.854567	85.1091	0.5
110.16	1.12844	85.1091	0.5
94.8156	1.54317	85.1091	0.5
85.1091	1.95979	85.1091	0.5
76.6258	2.4889	76.6258	0.5
71.4454	2.97083	71.4454	0.5
66.9492	3.57099	66.9492	0.5
63.1135	4.18222	63.1135	0.5
60.0954	4.8834	60.0954	0.5
57.1646	5.84066	57.1646	0.5

25A		Fusesaver 25A	
Current	Time	Current	Time
16073.5	0.016504	16089.5	0.0182
9817.56	0.018203	250	0.018203
7258.5	0.019503	250	0.019503
5474.89	0.02149	250	0.02149
4674.74	0.02291	250	0.02291
3770.37	0.024893	250	0.024893
3414.98	0.025805	250	0.025805
3019.75	0.027101	250	0.027101
2651.63	0.028691	250	0.028691
2321.41	0.030587	250	0.030587
2054.79	0.032414	250	0.032414
1827.91	0.034487	250	0.034487
1645.71	0.036292	250	0.036292
1449.43	0.039197	250	0.039197
1306.26	0.041997	250	0.041997
1197.42	0.044415	250	0.044415
1102.05	0.047398	250	0.047398
1024.47	0.05038	250	0.05038
932.557	0.055124	250	0.055124
856.566	0.059775	250	0.059775
782.842	0.066128	250	0.066128
705.517	0.074708	250	0.074708
637.74	0.084995	250	0.084995
574.173	0.09767	250	0.09767
516.426	0.114502	250	0.09767
457.113	0.137084	250	0.09767
392.655	0.173398	250	0.09767
339.655	0.219333	250	0.09767
287.704	0.289916	112.723	0.5
247.381	0.377886	112.723	0.5
209.963	0.511115	112.723	0.5
186.593	0.634346	112.723	0.5
162.866	0.809644	112.723	0.5
143.155	1.04272	112.723	0.5
130.834	1.25337	112.723	0.5
120.896	1.49158	112.723	0.5
112.723	1.73471	105.418	0.5
105.418	2.03774	105.418	0.5
97.7031	2.43718	97.7031	0.5
91.1889	2.91492	91.1889	0.5
85.8785	3.41385	85.8785	0.5
81.2015	3.98621	81.2015	0.5
77.6284	4.55781	77.6284	0.5
74.2868	5.22703	74.2868	0.5
71.0891	6.03661	71.0891	0.5

68.5069	6.82671	68.5069	0.5
66.4157	7.80562	66.4157	0.5
64.0673	9.00558	64.0673	0.5
62.423	10.266	50	0.5
60.5176	12.3523	50	12.3523
59.0825	14.8774	50	14.8774
57.8547	18.299	50	18.299
57.1074	22.4849	50	22.4849
56.2572	30.5953	50	30.5953
56.2572	61.3655	50	61.3655
56.0887	41.7979	50	41.7979
55.8089	107.538	50	107.538
55.3642	177.834	50	177.834
55.1984	592.798	50	592.798
55.1984	592.798	50	592.798
55.1984	592.798	50	592.798
55.1984	592.798	50	592.798
55.1984	592.798	50	592.798

Tabla 3.3: puntos de la gráfica de un fusible tipo K y fusivesaver para 25 A.

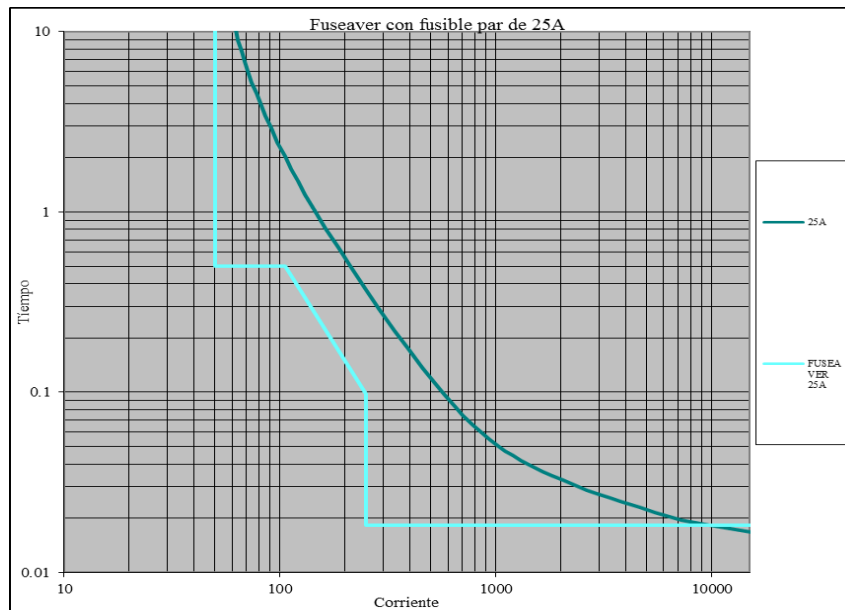


Figura 3.3: curva de fusivesaver en color celeste y curva de color verde correspondiente a la de un fusible de 25 A.

30A		Normal 30A		Rapida 30A	
Current	Time	Current	Time	Current	Time
16089.5	0.016504	16089.5	0.1	16089.5	0.019194
11636.8	0.017507	11636.8	0.1	11636.8	0.019194
8509.41	0.019194	8509.41	0.1	240	0.019194
7058.08	0.020401	7058.08	0.1	240	0.020401
6561.2	0.021107	6561.2	0.1	240	0.021107
6002.48	0.021793	6002.48	0.1	240	0.021793
5409.59	0.022705	5409.59	0.1	240	0.022705
4826.75	0.023893	4826.75	0.1	240	0.023893
4084.39	0.025396	4084.39	0.1	240	0.025396
3314.06	0.027704	3314.06	0.1	240	0.027704
2790.37	0.030192	2790.37	0.1	240	0.030192
2259.57	0.033501	2259.57	0.1	240	0.033501
1902.51	0.036693	1902.51	0.1	240	0.036693
1644.07	0.039908	1644.07	0.1	240	0.039908
1425	0.043711	1425	0.1	240	0.043711
1260.08	0.047493	1260.08	0.1	240	0.047493
1129.95	0.052018	1129.95	0.1	240	0.052018
1031.66	0.056294	1031.66	0.1	240	0.056294
935.359	0.061781	935.359	0.1	240	0.061781
856.566	0.068074	856.566	0.1	240	0.068074
783.625	0.075535	783.625	0.1	240	0.075535
715.464	0.084571	715.464	0.1	240	0.084571
652.578	0.09564	652.578	0.1	240	0.09564
583.434	0.112235	583.434	0.1	240	0.112235
519.014	0.132766	519.014	0.1	240	0.132766
464.951	0.15895	464.951	0.1	240	0.15895
404.613	0.199456	404.613	0.1	240	0.199456
353.164	0.251035	353.164	0.1	240	0.251035
300.345	0.338185	353.164	0.1	240	0.251035
252.127	0.468527	353.164	0.1	240	0.251035
213.776	0.633712	110	1.60775	222	0.3
185.477	0.826826	110	1.60775	133	1.04377
164.339	1.04377	110	1.60775	30	1.04377
150.194	1.27231	110	1.60775	30	1.27231
135.224	1.60775	60	1.60775	30	1.60775
122.478	2.05822	60	2.05822	30	2.05822
110.933	2.70159	60	2.70159	30	2.70159
102.918	3.37313	60	3.37313	30	3.37313
97.3131	4.11584	60	4.11584	30	4.11584
92.4746	5.01705	60	5.01705	30	5.01705
88.6711	6.04265	60	6.04265	30	6.04265
86.309	7.00654	60	7.00654	30	7.00654
83.842	8.21403	60	8.21403	30	8.21403
81.4455	9.97263	60	9.97263	30	9.97263
79.5936	11.7499	60	11.7499	30	11.7499

77.4733	14.0812	60	14.0812	30	14.0812
75.485	17.2851	60	17.2851	30	17.2851
73.6949	20.694	60	20.694	30	20.694
71.9473	27.0814	60	27.0814	30	27.0814
70.5932	35.4048	60	35.4048	30	35.4048
69.4033	47.1742	60	47.1742	30	47.1742
68.7127	63.8699	60	63.8699	30	63.8699
68.1652	90.3643	60	90.3643	30	90.3643
67.4869	143	60	143	30	143
67.2175	218.733	60	218.733	30	218.733
66.9492	395.777	60	395.777	30	395.777
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579
66.4822	594.579	60	594.579	30	594.579

Tabla 3.4: puntos de la coordinación de protección del fusesaver con configuración llamada rápida.

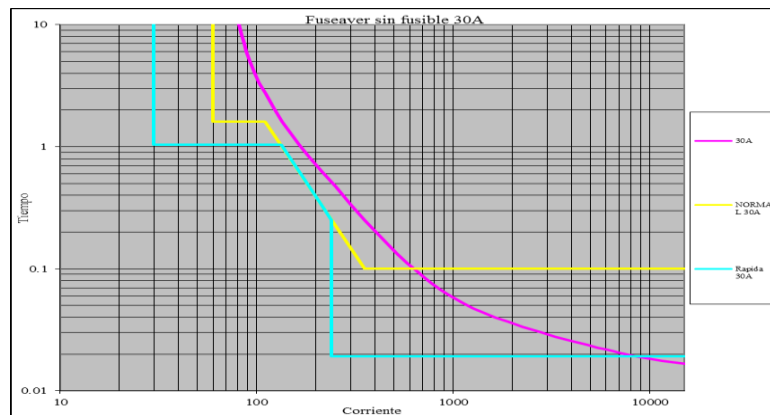


Figura 3.4: curva de fusesaver de color celeste, configuración rápida y curva de color amarilla correspondiente a la configuración de un fusesaver con un disparo normal y curva color rosado la de un fusible de 30 A como lo detalla el fabricante.

CAPITULO IV. EJEMPLO DE ESTUDIO.

En este capítulo se ilustra un ejemplo de estudio aplicado en el área de distribución eléctrica, calculando protecciones en un típico red distribución.

4.1 PARÁMETROS DE LÍNEA.

Se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

Voltaje nominal = 23kV

Carga actual = 1.72MVA

Carga Futura: S = 7.1MVA

%Máxima caída de tensión ($\Delta V = 4\%$)

Longitud de la línea de distribución = 12 km

4.2 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Calcular:

Calibre del conductor.

Corriente nominal línea primaria.

Corriente de falla en el nodo de entrada.

Corriente de falla en el punto de entrega.

Corriente en condiciones de sobrecarga.

Especificar el tipo de protección a instalar.

Especificación de transformadores de medición.

Considerar las dos propuestas de protecciones aguas arriba del bus principal.

Curvas de coordinación de protecciones.

4.3 DIAGRAMAS DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN.

PUNTO DE ENTREGA:

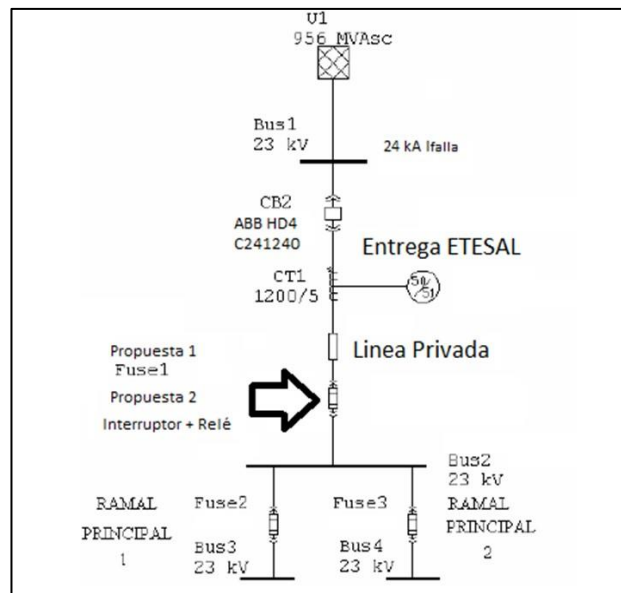


Figura 4.1 Diagrama de punto de entrega.

RAMAL PRINCIPAL 1: Demanda de 2.8MVA.

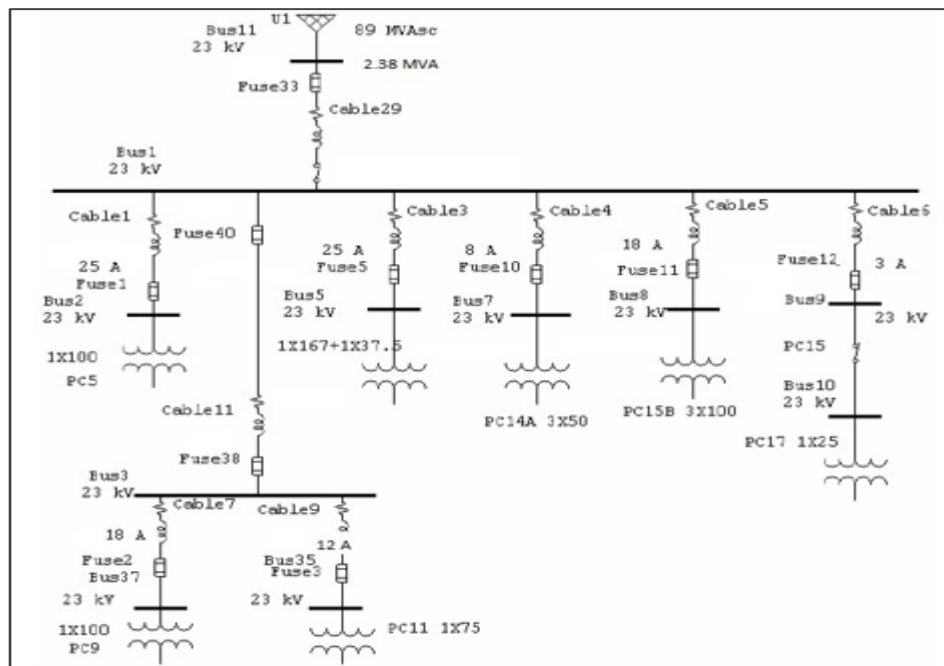


Figura 4.2 Diagrama de ramal principal 1.

RAMAL PRINCIPAL 2: Demanda de 4.3 MVA

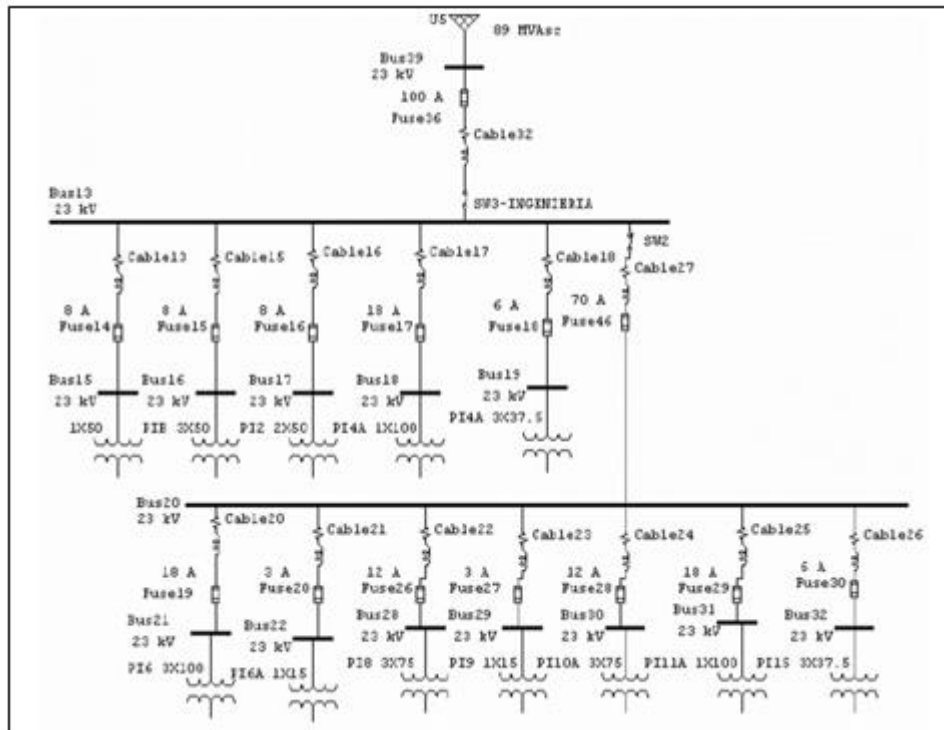


Figura 4.3 Diagrama de ramal principal 1.

4.4 DESARROLLO TEÓRICO DEL PROYECTO

4.4.1 CORRIENTE NOMINAL LÍNEA PRIMARIA.

Para un porcentaje de caída de tensión de 4% se tiene:

$$\Delta V = 23kV * \frac{4\%}{100\%} = 920V$$

Por lo tanto, la corriente nominal es:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * (V_{LL} - \Delta V)} = \frac{7.1 MVA}{\sqrt{3} * (22.08kV)} = 185.7A$$

4.4.2 CALIBRE DEL CONDUCTOR.

Empleando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2\gamma IL}{\Delta V}$$

Donde:

S: sección transversal del conductor [mm^2]

γ : constante para el aluminio $\gamma = \frac{1}{35.4} \Omega \frac{mm^2}{m}$

I: corriente de trayectoria [A]

L: longitud de trayectoria [m]

ΔV : Máxima caída de voltaje [V]

Sustituyendo los valores en la ecuación anterior:

$$S = \frac{2\left(\frac{1}{35.4}\right)(185.7)(12000)}{920} = 136.85 \text{ mm}^2$$

Comercialmente no existe un calibre con este valor exacto de área de sección transversal, proponiendo un conductor ACSR calibre 300 MCM se tienen 152 mm^2 con manejo de corriente de 470 A @25°C de temperatura ambiente, este valor está un poco sobredimensionado pero el 250 MCM tiene 126.7 mm^2 , por lo que, no cumple.

Conductor por fase seleccionado: ACSR 300MCM

4.4.3 CORRIENTE DE CONDICIONES DE SOBRECARGA.

Según la CFE para el alimentador de distribución se puede utilizar un 200% de la corriente máxima nominal del sistema, por lo tanto, la corriente de sobrecarga es:

$$I_{sobrecarga} = 2 * 185.7 = 371.4 \text{ A}$$

El conductor seleccionado tiene una capacidad de 470 A, por lo tanto. Está bien seleccionado.

4.4.4 CORRIENTE DE FALLA EN EL NODO DE ENTRADA.

Calculando los MVA de cortocircuito de la línea privada. De tablas se obtiene para un conductor ACSR 300 MCM.

$$X_{linea} = (0.2274 + j0.2846) \frac{\Omega}{km} (12km) = (2.7288 + j3.4152)\Omega$$

$$|X_{linea}| = \sqrt{2.7288^2 + 3.4152^2} = 4.3715\Omega$$

$$MVA_{cckto-linea} = \frac{(23kV)^2}{4.3715} = 121MVA$$

$$MVA_{cckto-eq} = \frac{1}{\frac{1}{956} + \frac{1}{121}} = 107.406MVA$$

$$I_{cckto} = \frac{107.406MVA}{\sqrt{3} * (23kV)} = 2.7kA$$

4.4.5 CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO DE ENTREGA.

Dado que el diagrama ya proporciona la potencia de cortocircuito en la entrada, se tiene:

$$I_{cckto} = \frac{956MVA}{\sqrt{3} * 23kV} = 24kA$$

4.5. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

4.5.1. COORDINACIÓN DE PROTECCIONES RAMAL PRINCIPAL.

Ya que la potencia instalada del diagrama unifilar en el ramal principal es de 0.96MVA aproximadamente lo cual es un valor alejado de 2.8MVA que son necesarios para operar. Por lo tanto, se hace una redistribución de potencia en los transformadores con valores comerciales para obtener los 2.8MVA demandado y agregando Recloser en puntos clave como se muestra a continuación.

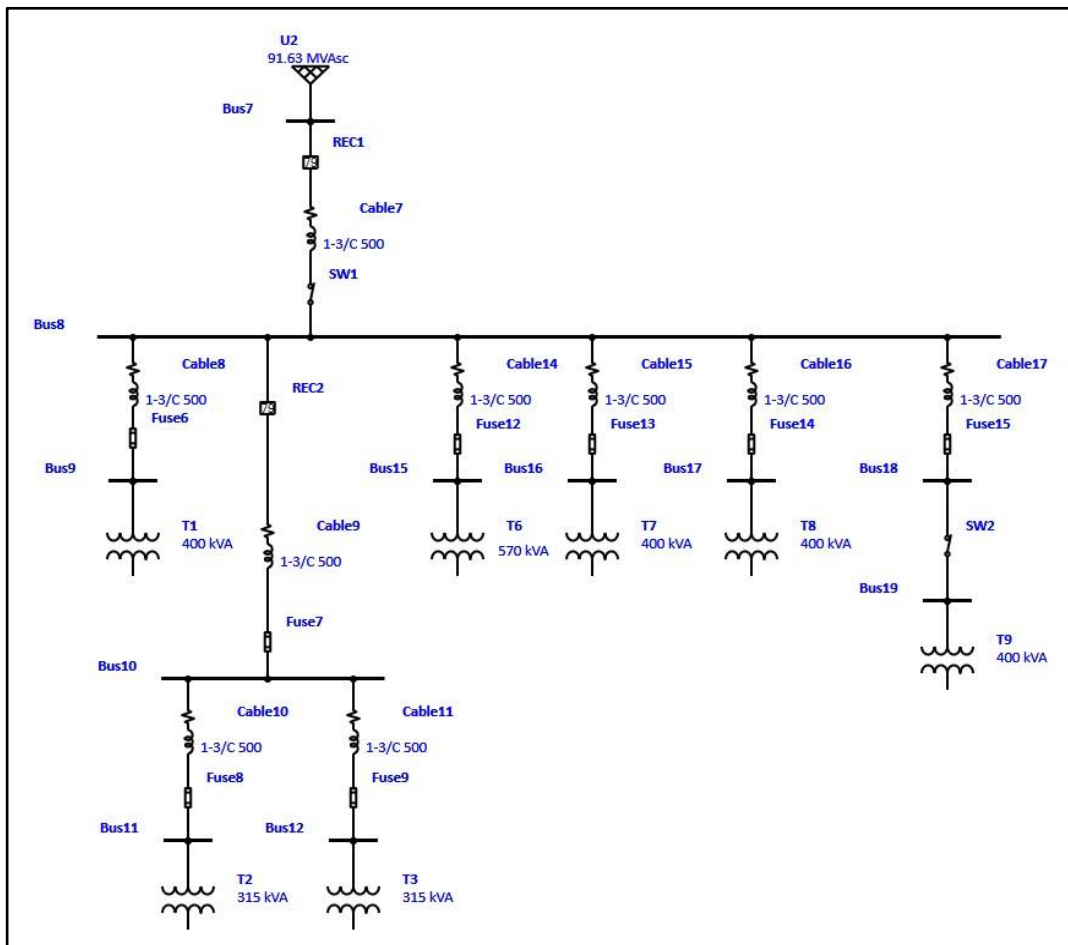


Figura 4.4 Diagrama unifilar de ramal principal.

Todos los transformadores son trifásicos excepto T6 formado por un banco de transformadores de monofásicos (1x250 kVA + 2x160 kVA), al sumar la totalidad de los transformadores instalados tenemos: 2x315 kVA + 4x400 kVA + 570 kVA = 2.8 MVA.

4.5.2 PRIMERA SECCIÓN RAMAL PRINCIPAL

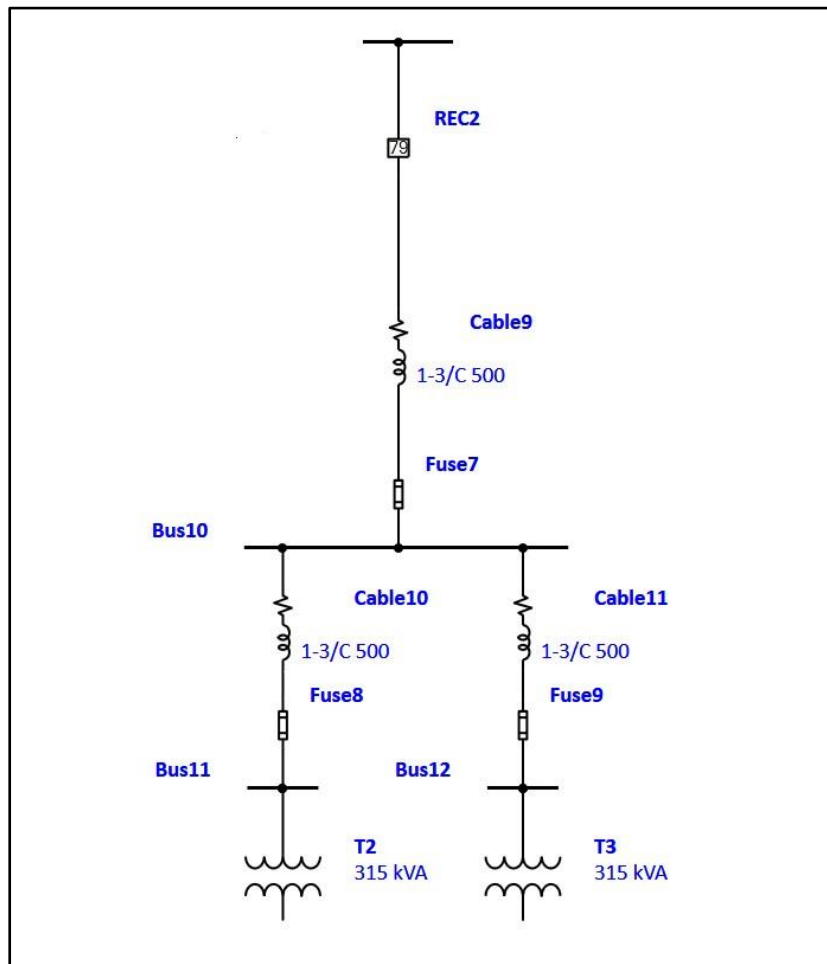


Figura 4.5 Primera sección ramal principal.

Calculamos la corriente de los fusibles 7,8 y 9 con un margen de seguridad del 25%:

$$IF^{8,9} = \frac{315KVA}{23kV\sqrt{3}} \times 1.25 = 9.88 \approx 10A$$

$$IF^7 = 2IF^{8,9} = 20A$$

4.5.3 CONFIGURACIONES DE FUSIBLES Y RECLOSER



Figura 4.6 Configuración fusible 8 y 9 ramal principal.

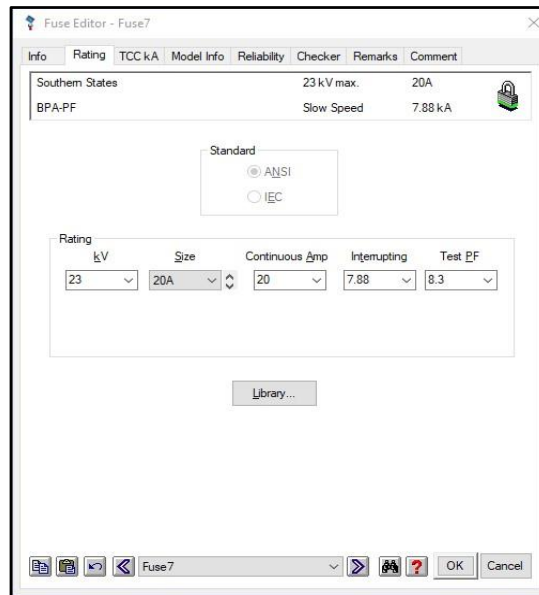


Figura 4.7 Configuración fusible 7 ramal principal.

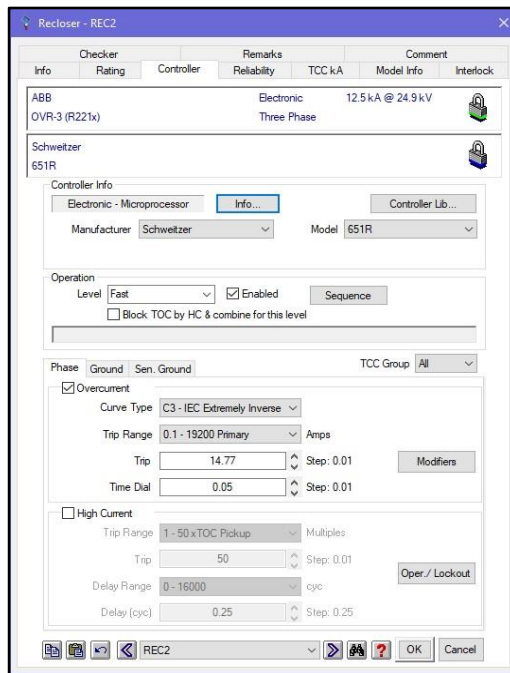


Figura 4.8 Configuración curva rápida recloser (REC2) ramal 1.

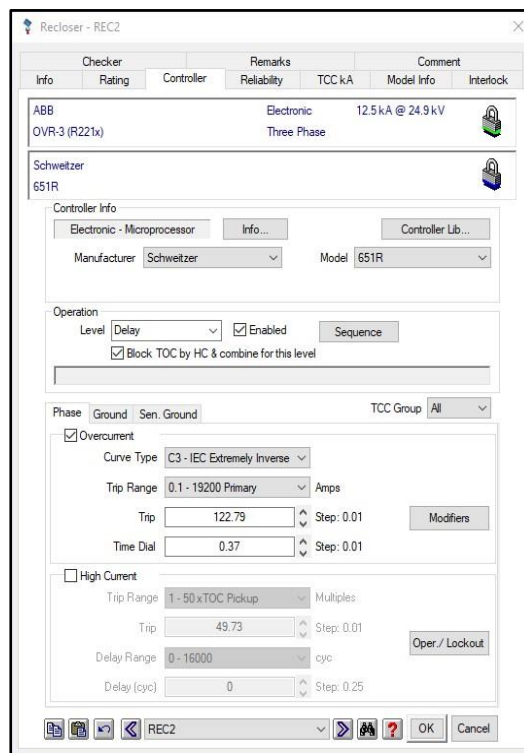


Figura 4.9 Configuración curva lenta recloser (REC2) ramal 1.

4.5.4 COORDINACIÓN RAMAL 1

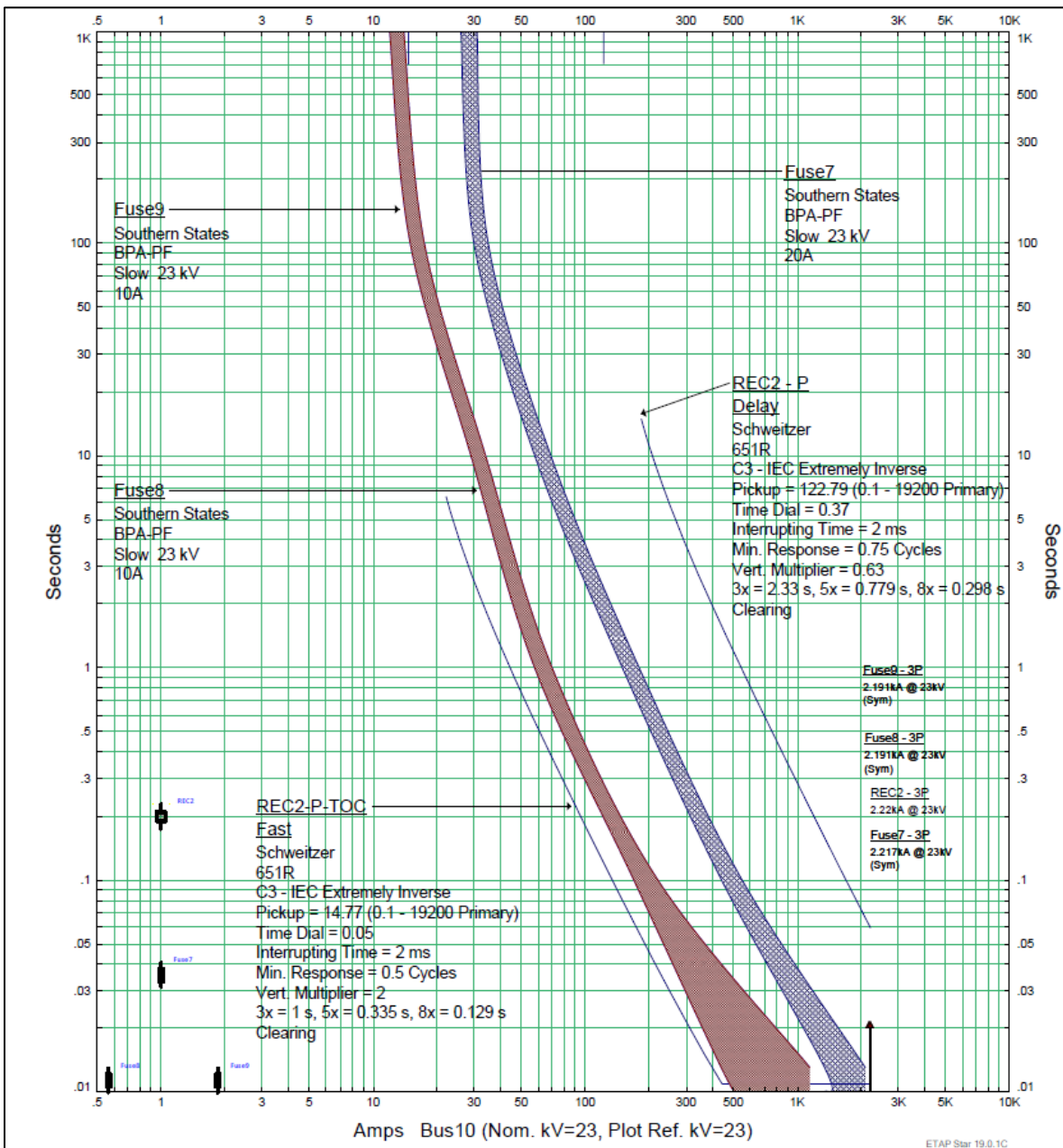


Figura 4.10 Coordinación de protecciones ramal 1.

4.5.5 SEGUNDA SECCIÓN RAMAL PRINCIPAL.

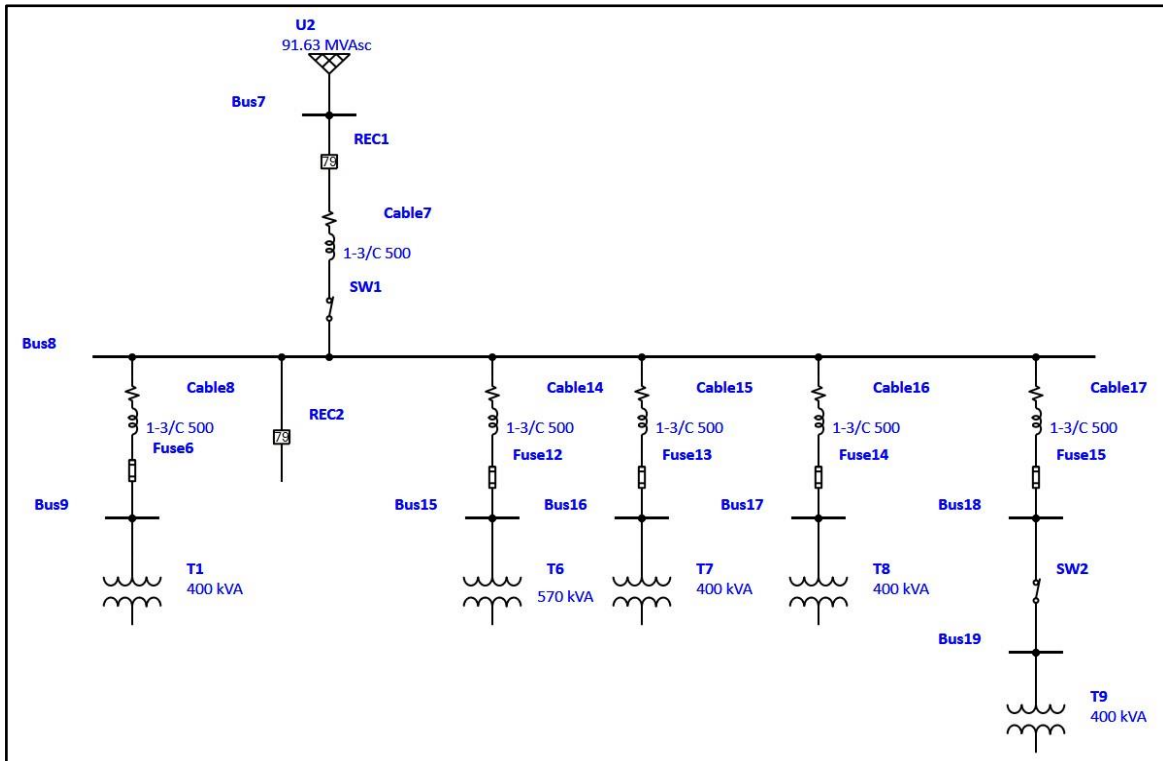


Figura 4.11 Diagrama unifilar sección 2 ramal principal

Calculando la capacidad requerida para los fusibles 6, 12, 13, 14, y 15 tomando en cuenta el mismo criterio de la sección anterior.

$$IF^{6,13,14,15} = \frac{400KVA}{23kV\sqrt{3}} \times 1.25 = 12.55 \approx 15A$$

$$IF^{12} = \frac{570KVA}{23kV\sqrt{3}} \times 1.25 = 17.89 \approx 25A$$

4.5.6 CONFIGURACIONES DE FUSIBLES Y RECLOSER

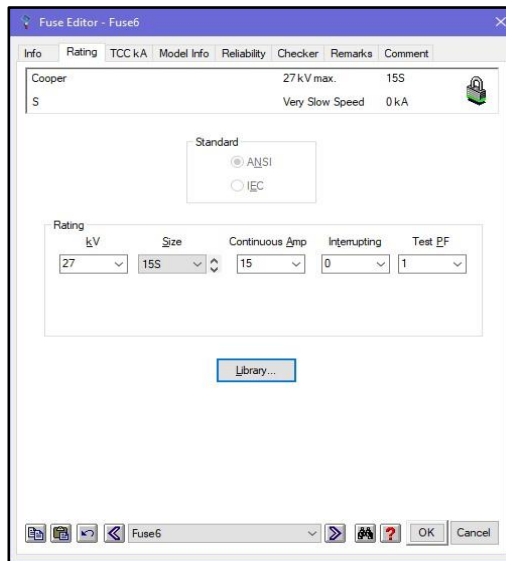


Figura 4.12 Configuración fusible 6,13,14 y 15

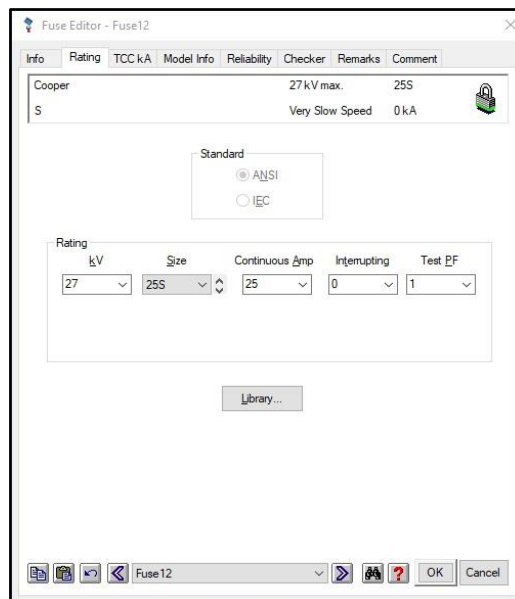


Figura 4.13 Configuración fusible 12

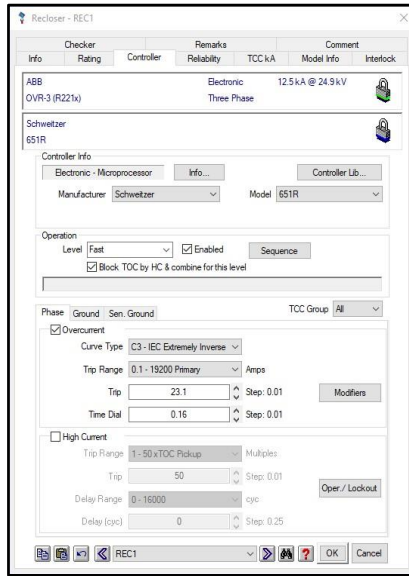


Figura 4.14 Configuración curva rápida recloser (REC1)

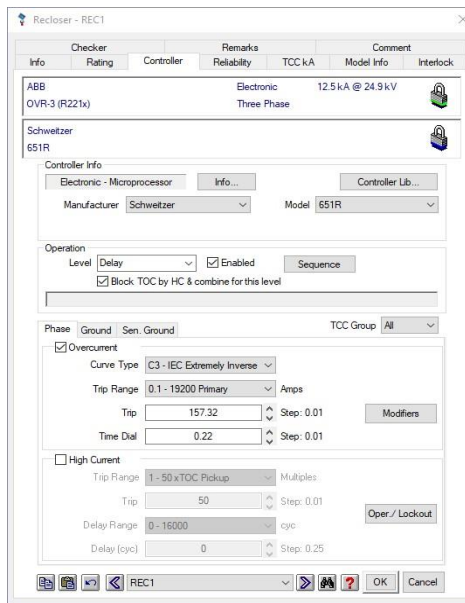


Figura 4.15 Configuración curva rápida recloser (REC1)

4.5.7 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SEGUNDO RAMAL

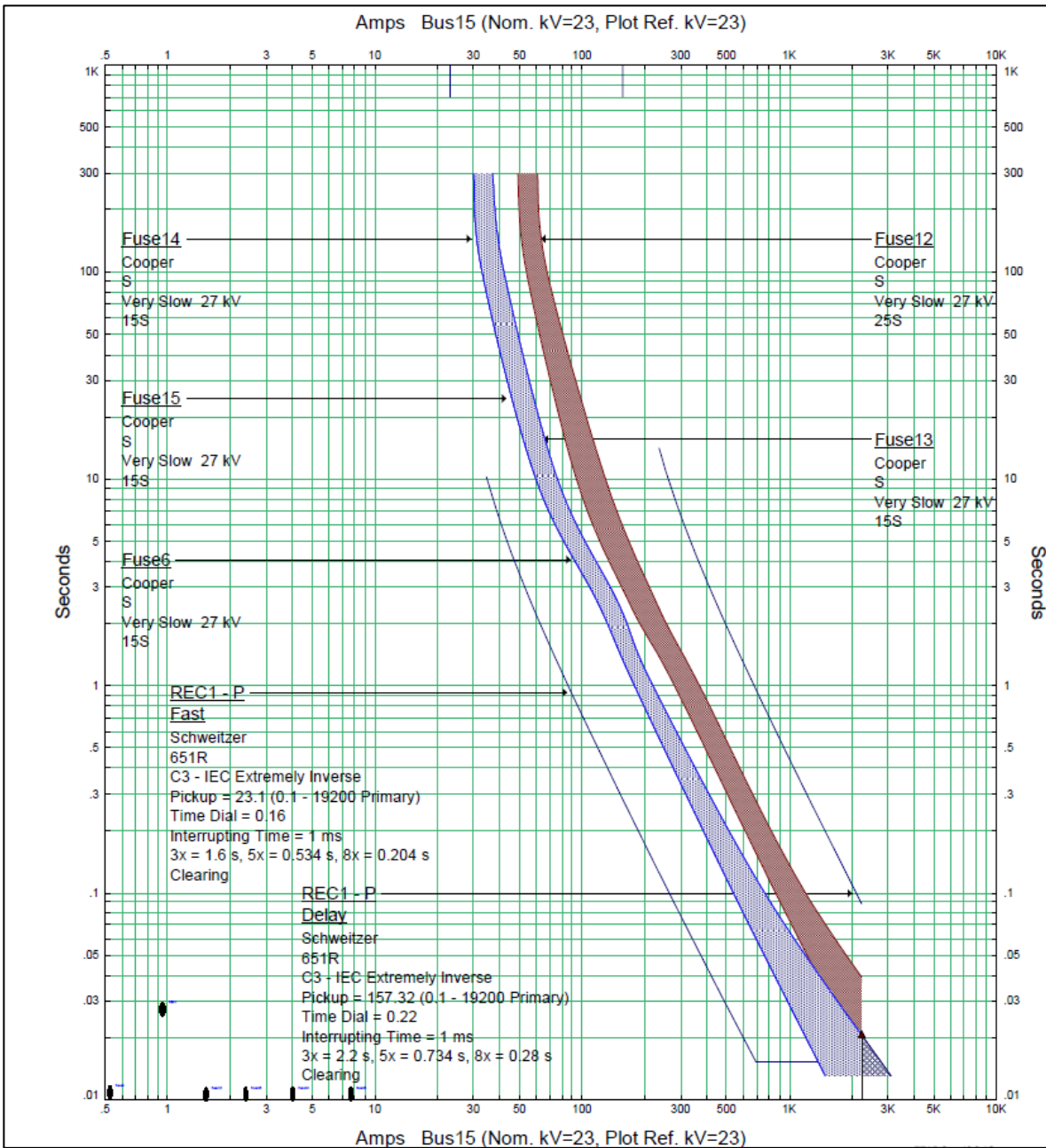


Figura 4.16 coordinación segunda sección ramal principal

4.5.8 COORDINACIÓN RECLOSER-RECLOSER

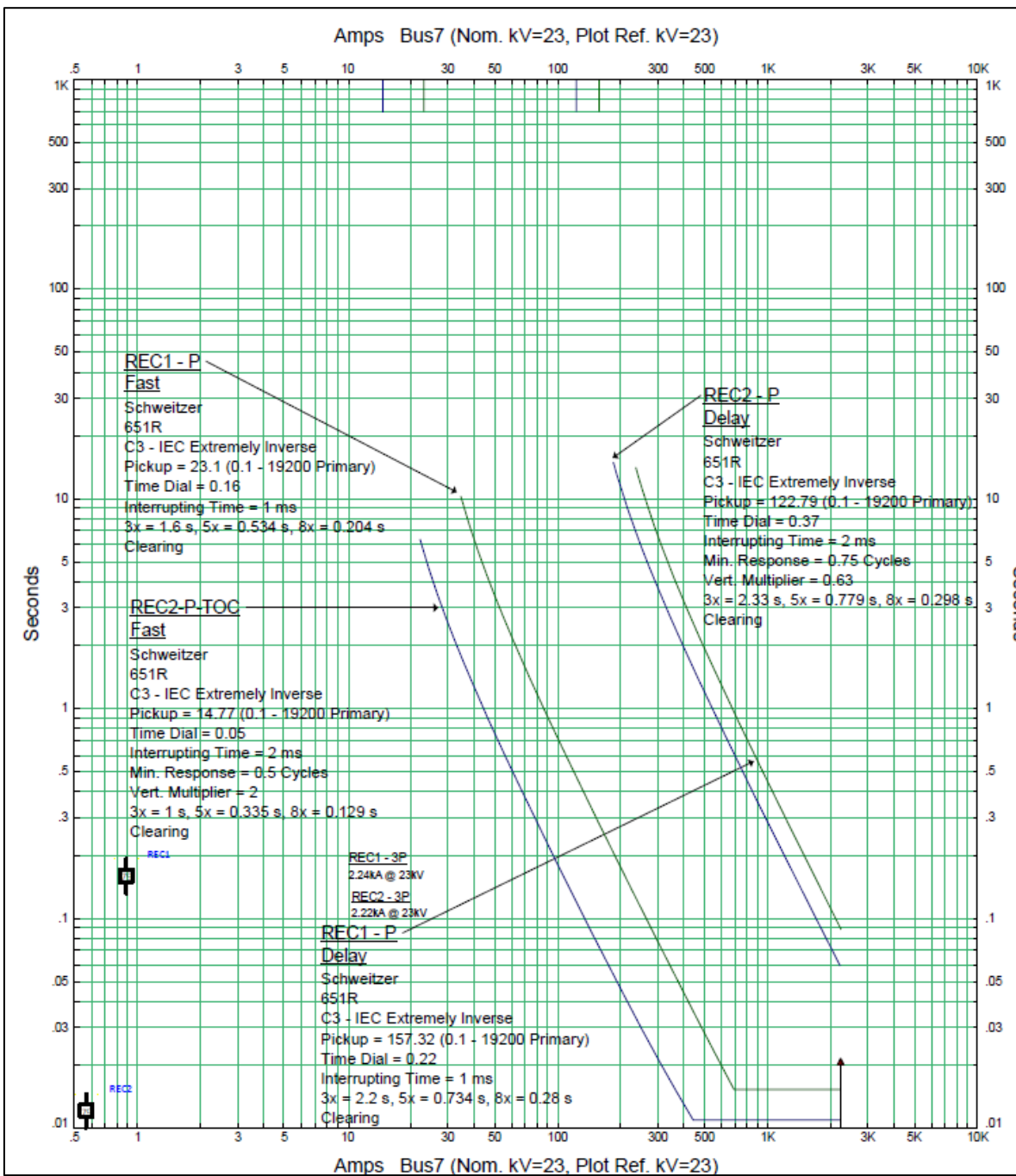


Figura 4.17 Curvas de protección entre recloser

4.5.9 COORDINACIÓN TOTAL RAMAL PRINCIPAL

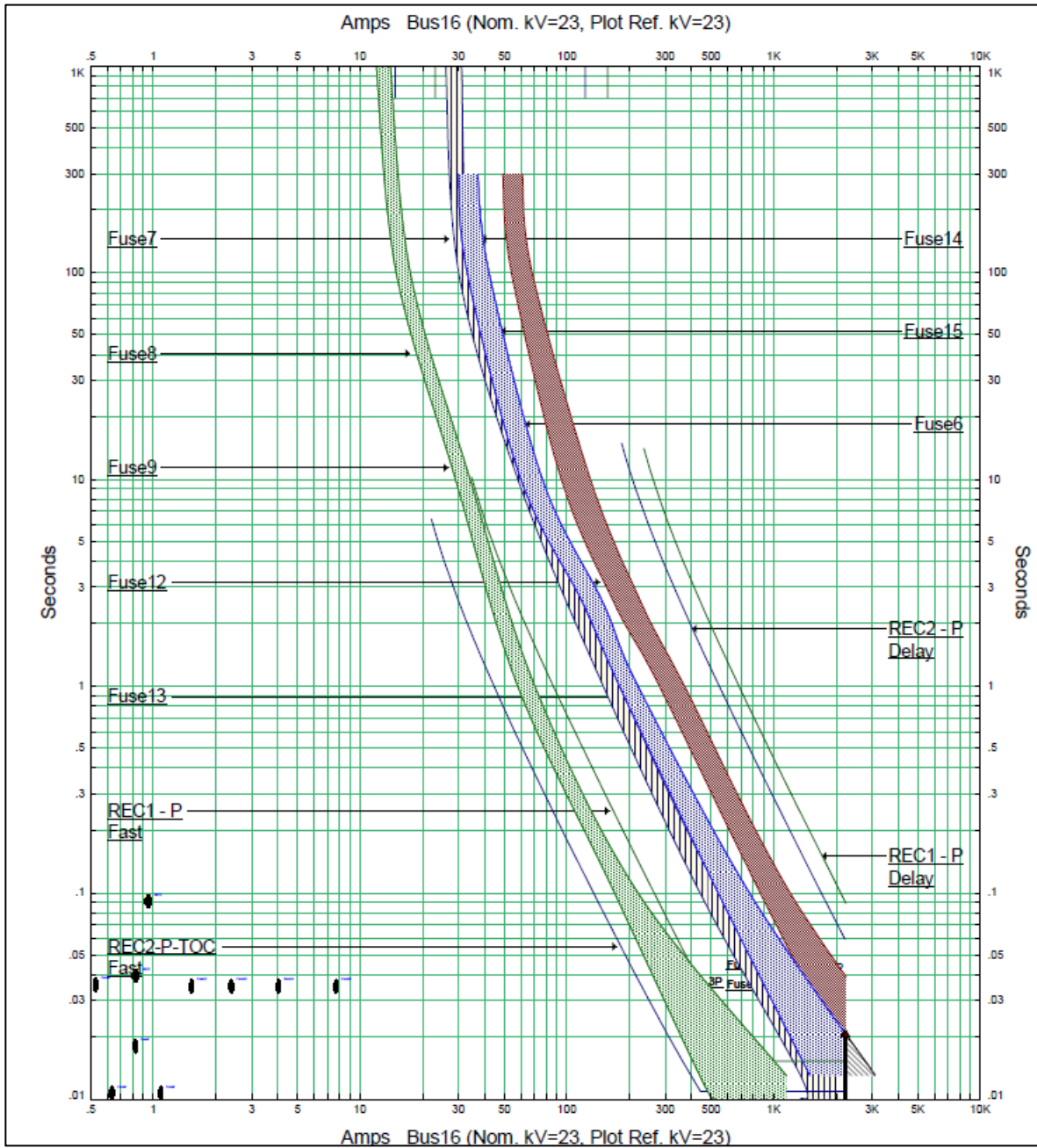


Figura 4.18 Curvas de protección ramal principal.

CAPITULO V. COORDINACION DE PROTECCIONES CON FUSESAVER EN ETAP.

5.1 INTRODUCCIÓN.

Si bien la aplicación de fusesaver teóricamente parece sencilla, nos encontramos con el problema que en el caso de realizar un estudio de la aplicación de este dispositivo de protección hay poca información y escaso software de simulación el cual tenga el modelo de este dispositivo en sus librerías ya que el fabricante tampoco nos brinda uno de uso libre y su configuración es mediante su software propietario, por lo cual optaremos en realizar nuestro propio modelo de curva. Realizaremos el modelado de la curva basándonos en los fusibles más utilizados en distribución, variando los diferentes multiplicadores $d1$, $d2$ y $d3$ según características del manual dado por el fabricante.

5.2 COORDINACIÓN DE FUSESAVER CON FUSIBLES DE EXPULSIÓN.

Para coordinar la curva de corriente versus tiempo, debido a lo anteriormente mencionado, debemos tomar como base la curva del fusible de expulsión al que se planea reemplazar o proteger con el dispositivo, ya que estos datos de corriente vs tiempo suelen darlos los fabricantes. En base a los puntos en la curva de protección del fusible se procede a crear la curva del fusesaver con sus distintas secciones $d1$, $d2$, d y $d3$.

A continuación, en la figura 5.1, tomaremos como ejemplo la curva de protección de un fusible de 15A.

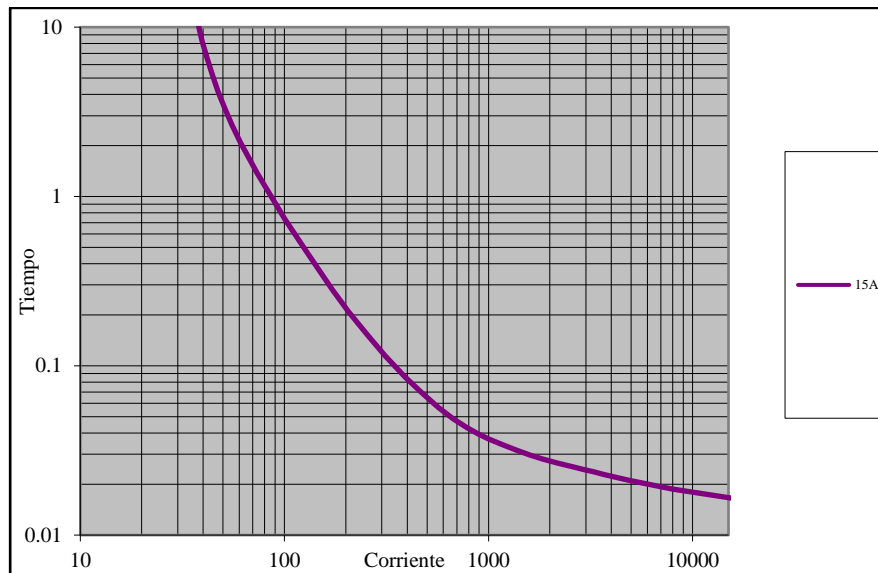


Figura 5.1 Curva de protección fusible 30 A

Luego procedemos en base a los puntos tomados seleccionar los valores de los multiplicadores respectivos con los criterios dados según el manual del fabricante.

D3: El cual corresponde al multiplicador de disparo instantáneo el cual es un múltiplo de la corriente nominal del fusible a resguardar en este caso particular con un multiplicador de X10 dando como resultado una corriente de disparo instantáneo de 150 A lo cual indica que cualquier corriente superior a esta generara un disparo instantáneo.

D1: Que corresponde al multiplicador mínima de disparo que en este caso es X2 obteniendo un valor de 30 A, es decir cualquier corriente de menos de 30 A, no será interpretada como falla por el dispositivo.

D2: Este multiplicador el cual representa el tiempo máximo de falla en el cual podemos observar que solo varia la corriente mas no el tiempo, acercándose a la curva del fusible lo suficiente para que este no comience a fundirse, en este caso se ha seleccionado un valor de 0.5 , lo cual quiere decir que una vez superada la corriente mínima de disparo lo cual ve el fusesaver como una falla basada en una curva de tiempo inverso para resguardar el fusible, Si dicha protección no ha disparado el dispositivo antes de alcanzar el tiempo máximo de falla (D2) entonces el Fusesaver disparara.

D4: Ajuste de tiempo mínimo de falla el cual el tiempo es constante y la corriente aumenta, una vez que se supere la corriente supere el nivel mínimo de disparo el dispositivo debe detectar la falla como en el caso anterior con base a tiempo inverso,

pero el Fusesaver no se disparara sin haber superado como mínimo el valor de tiempo de D4 en este caso 0.018s.

D: Es un ajuste tal que la corriente corresponda con los del fusible a proteger, pero estando separado en tiempo lo suficiente para que este no se funda.

Reemplazando los multiplicadores y tiempos anteriores procedemos a armar nuestra tabla para verificar la coordinación con el fusible de 15A.

Fusible 15A		Fusesaver 15A		
Corriente	Tiempo	Corriente	Tiempo	
16186.4	0.01641	16089.5	0.018701	D4
7973.89	0.0187	150	0.018701	D3
4812.29	0.02111	150	0.021107	D4
3644.33	0.0228	150	0.022796	
3277.8	0.02361	150	0.023608	
2930.5	0.0244	150	0.0244	
2609.54	0.02519	150	0.025194	
2188.4	0.02659	150	0.026591	
1840.75	0.02821	150	0.028207	
1601.87	0.02971	150	0.029713	
1392.6	0.03149	150	0.031487	
1156.24	0.03432	150	0.034315	
999.176	0.03699	150	0.036988	
893.307	0.03951	150	0.039511	
782.842	0.0431	150	0.043103	
673.798	0.0484	150	0.048404	
570.738	0.05641	150	0.056407	
471.034	0.06917	150	0.069172	
390.697	0.08576	150	0.069172	
311.354	0.11508	150	0.069172	
254.915	0.15257	150	0.069172	D3
206.63	0.2076	55.3089	0.5	D2
171.56	0.28219	55.3089	0.5	
129.921	0.46063	55.3089	0.5	
100.477	0.73701	55.3089	0.5	
73.8425	1.35912	55.3089	0.5	
61.0037	2.0789	55.3089	0.5	
55.3089	2.64545	55.3089	0.5	D

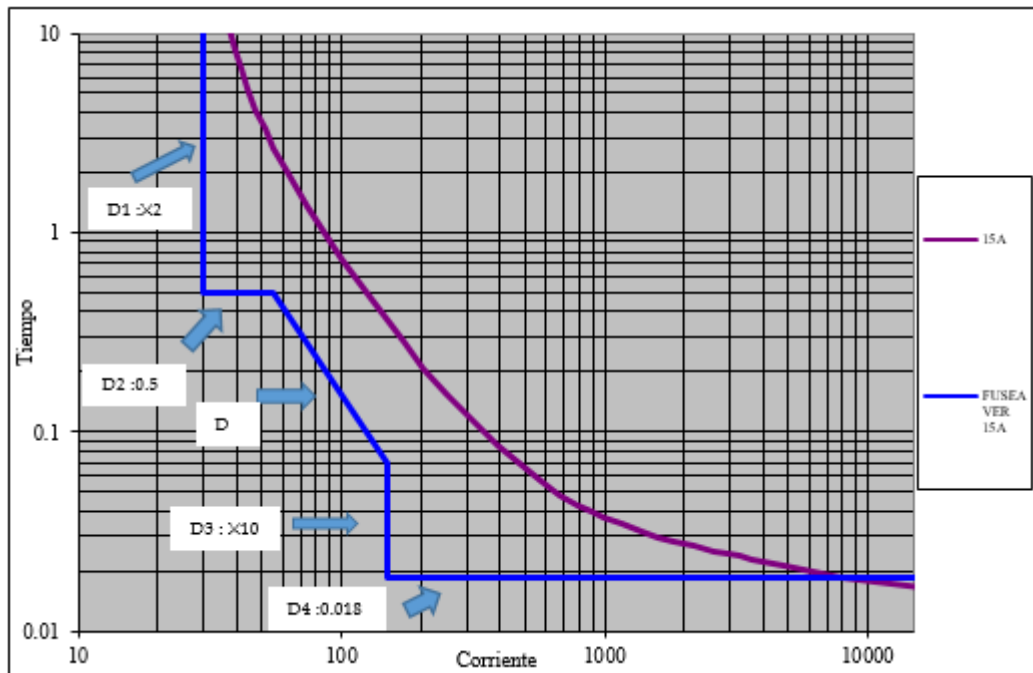


Figura 5.2 curva de fusible de 15 A y fusesaver.

5.3 CURVA DE FUSESAVER EN ETAP 19

Luego de haber coordinado nuestro Fusesaver con el fusible que es de nuestro interés, ya tendremos nuestros puntos de corriente y tiempo necesarios para agregar esta curva al simulador en cuanto a las curvas de protección de los dispositivos. En este caso tomaremos una sección del ejemplo de estudio realizado en el capítulo IV.

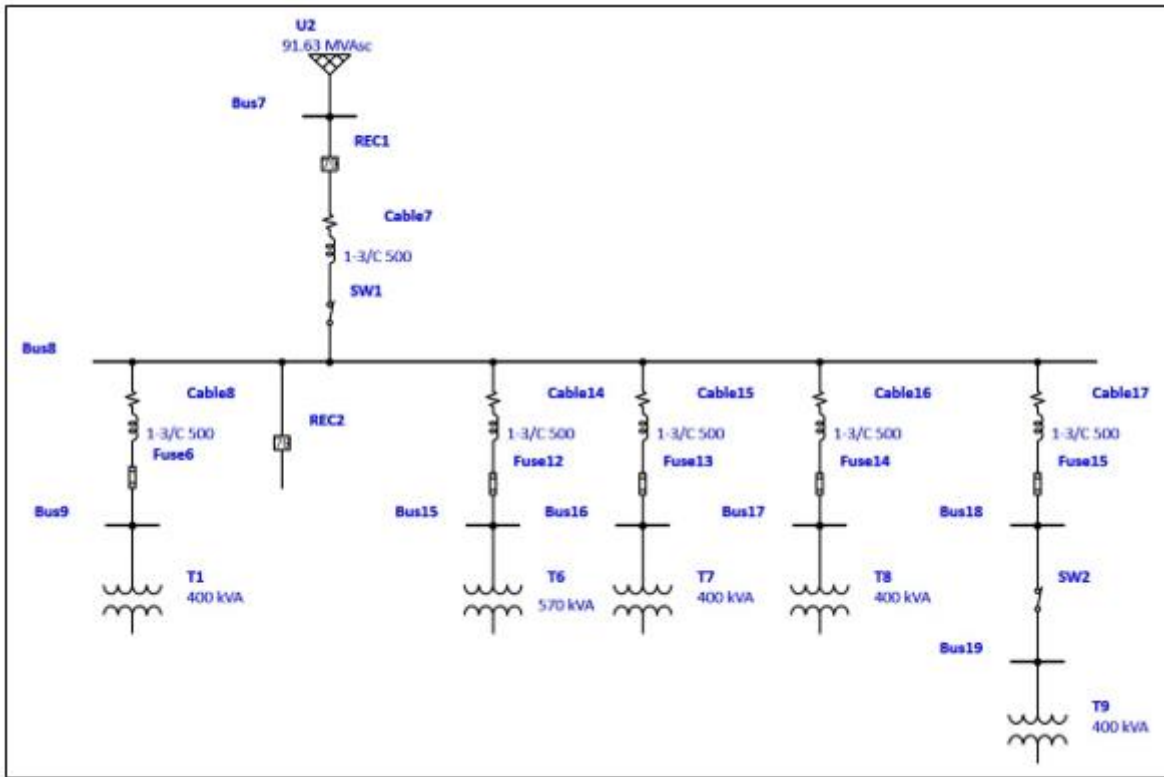


Figura 5.3 Diagrama unifilar sección 2 ramal principal.

Coordinaremos el Fusesaver para salvaguardar el fusible numero 12 el cual es de 25 A, se procede a hacer la coordinación cotidiana y luego se agregará la curva del fusesaver de interés.

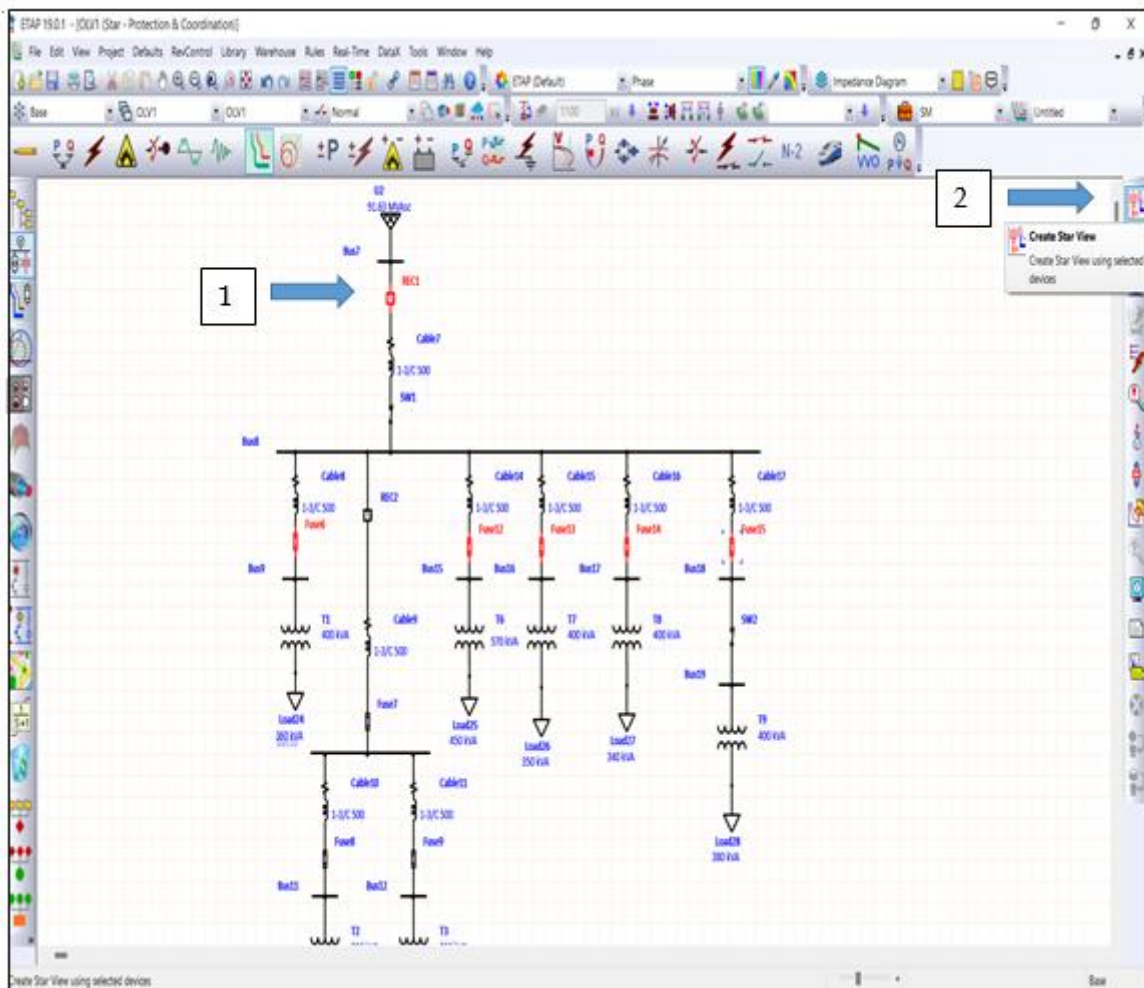
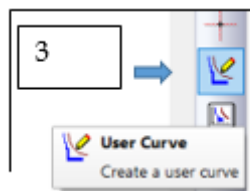
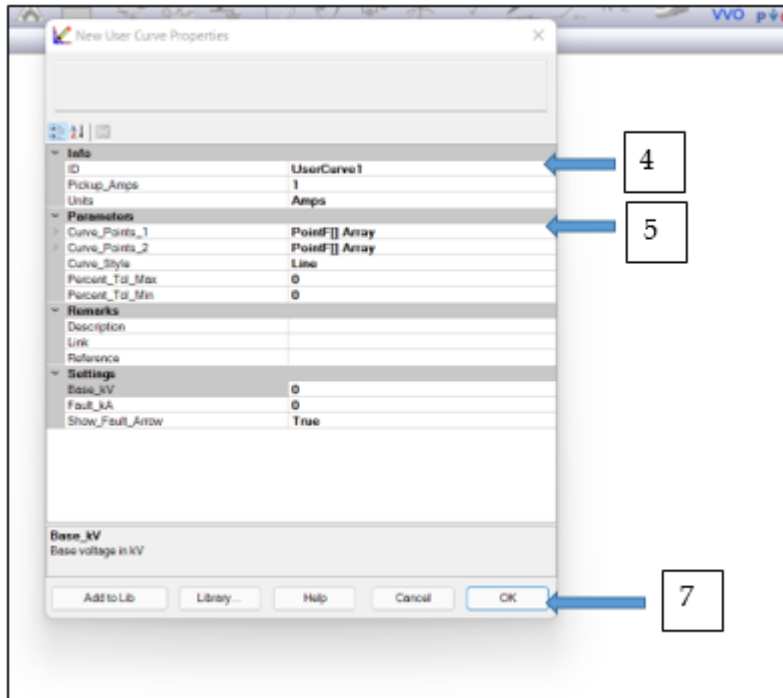


Figura 5.4 paso 1 y 2 para crear la curva de un fusivover.

- 1: Seleccionamos los elementos de interés de los cuales deseamos obtener las curvas de protección
- 2: Damos click en la primera opción de Create Star View para solo obtener las gráficas de los elementos seleccionados.

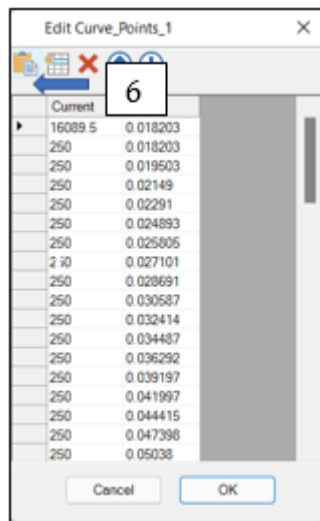


- 3: Luego en la ventana donde se grafican las curvas, hacemos click sobre User Curve.



4: colocamos el nombre de la Curva.

5: Abrimos la tabla donde almacenaremos los puntos de corriente y tiempo desde una hoja de cálculo haciendo click sobre el ítem señalado.



- 6: clicamos en la herramienta de pegado para añadir los datos de nuestra curva.
- 7: hacemos click en aceptar para ingresar la curva.

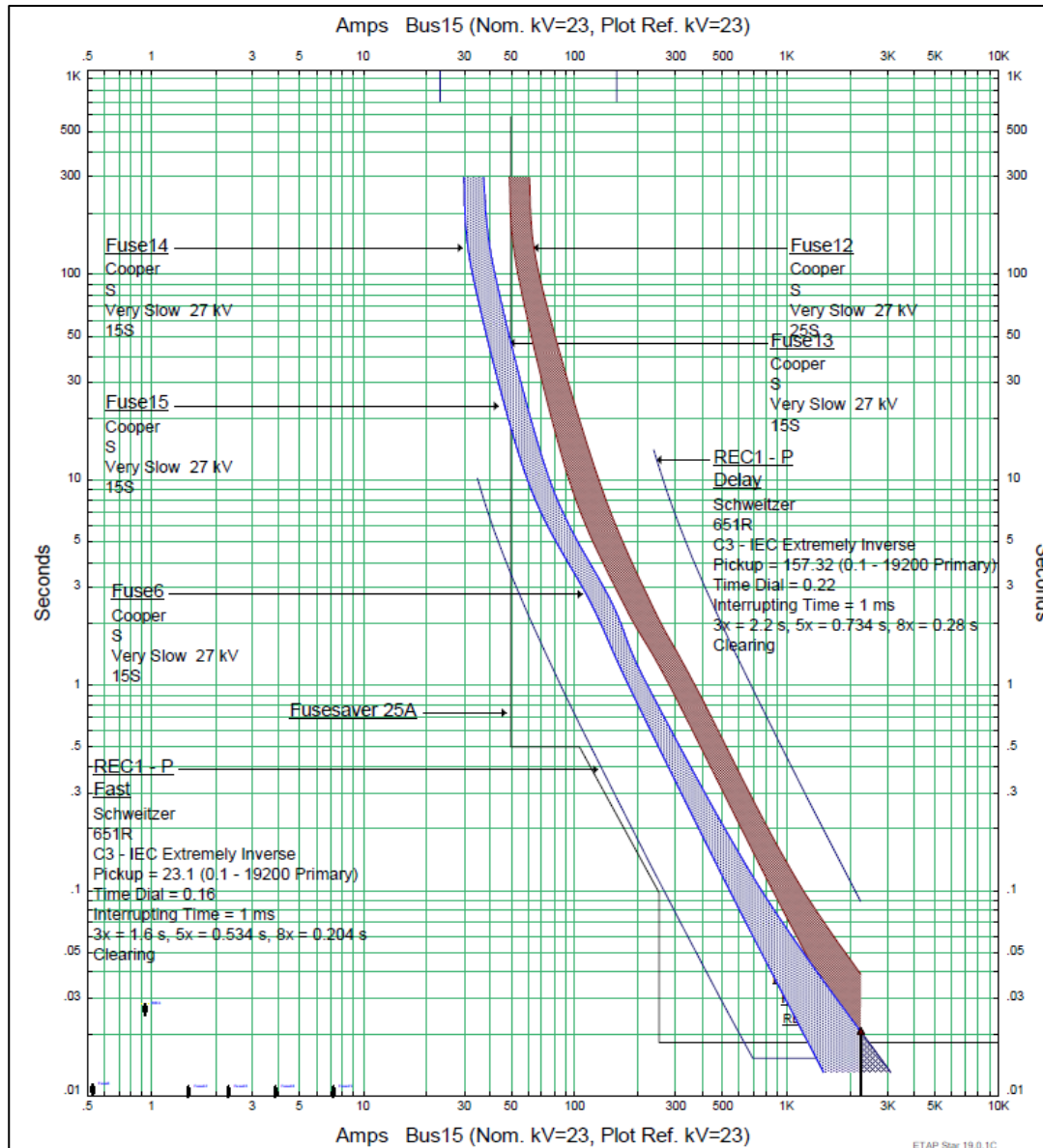


Figura 5.5 simulación de la curva de fusesaver en ETAP

Como podemos observar se ha insertado la curva correspondiente al fusesaver configurado para un fusible de 25A y podemos observar que este actúa antes que se comience a fundir a incluso antes que actúe el recoser aguas arriba.

CAPITULO VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FUSES AVER.

Para desarrollar este punto, Se enviaron diferentes cartas a distribuidoras y entidades eléctricas nacionales en repetidas ocasiones, sin obtener respuestas algunas o datos que pudieran ser utilizados para un estudio más específico en nuestra región por lo cual se utilizaran los datos de una investigación de la aplicación del dispositivo de protección en estudio realizada en el país de Egipto.

Ya que las redes de distribución en MT en la zona rural carecen de la capacidad adecuada para ser monitoreadas y por ende tener una respuesta inteligente de forma remota a causa que los dispositivos de protección utilizados son los tradicionales de bajo nivel. Por lo que, a partir de los resultados obtenidos del capítulo anterior, una manera de poder coordinar el Fusesaver con diferentes dispositivos de protección y sobre todo con el que pretende sustituir o proteger, es decir el fusible de expulsión convencional. En ese sentido, se evaluará la mejora en confiabilidad y el rendimiento en redes de distribución en MT instalando el dispositivo en cuestión en ramales de tipo radial.

Para poder evaluar un cambio en la confiabilidad de la red de distribución podemos basarnos en las variaciones históricas de los índices de confiabilidad del sistema con tecnologías convencionales y luego instalando el Fusesaver. Como ejemplo de aplicación tomaremos los datos recopilados antes y después de la instalación de Fusesavers en Egipto en el área de “Dalangat” con la alimentación de “HARMOOR” la cual es una de las peores líneas de la red de Egipto dadas sus constantes interrupciones. Para la mejora de las redes de distribución se han ido añadiendo cada vez más dispositivos con SmartGrid lo cual nos da muchas combinaciones de cómo utilizar estos mismos en conjunto generando algunos escenarios a considerar, cada uno con sus pros y contras, de los cuales describiremos unos a continuación:

El primer escenario es poner solo un Recloser desde el alimentador principal. Aunque este enfoque tiene el costo de inversión más bajo y evita inconvenientes en el uso de fusibles, aumenta el número de clientes afectados, la frecuencia y la duración de las interrupciones por fallas permanentes y transitorias porque el Recloser desconecta el alimentador principal independientemente de la ubicación de la falla. Además, es posible que el Recloser no detecte algunas fallas persistentes que resulten en peligros graves, ejerza deterioro sobre los dispositivos aguas abajo y cree caídas de tensión.

El segundo enfoque es usar Recloser en el alimentador principal y fusibles en las líneas derivadas. Este método pierde intencionalmente la coordinación entre ambos dispositivos durante el primer disparo, lo que permite que el reconectador se dispare.

Ante una falla sostenida, se activa un segundo disparo mediante el cual se retarda el reconectador para dejar actuar al fusible. Esto reduce el número de clientes afectados y mantiene la estructura de la red tradicional sin modificaciones. Sin embargo, todos los clientes del alimentador están expuestos a cortes momentáneos independientemente del tipo de falla. Además, tiene todas las desventajas del fusible y Recloser.

La tercera solución es colocar Recloser en el alimentador principal y seccionador automático a lo largo de la línea del alimentador o en las líneas radiales importantes. La principal ventaja de esta topología es que los seccionadores automáticos de desconexión no necesitan coordinarse con el reconectador aguas arriba, ya que operan de acuerdo con el número de accionamientos del Recloser y la configuración de su contador. Sin embargo, esto genera tensión en la red descendente varias veces hasta que los seccionadores automáticos finalmente se desconectan.

La cuarta técnica es usar Recloser en el alimentador y a lo largo de la línea. Desafortunadamente, esta topología tiene el costo de inversión más alto y el Recloser necesitaba coordinarse con el del alimentador principal, lo que será una misión difícil para redes grandes. Además, esto genera estrés y agrega caídas de voltaje a todos los componentes aguas abajo. Sin embargo, la principal ventaja es que los Recloser son más rápidos que los seccionadores automáticos.

El quinto enfoque se establece reemplazando el Recloser en cualquier configuración anterior con un Reconectador por pulsos. El Reconectador por pulsos tiene la capacidad de reducir y mitigar las caídas de voltaje y el estrés en los dispositivos aguas abajo. Además, no tiene dificultad de coordinación. Sin embargo, esta técnica muestra una dificultad en la detección del pulso.

El sexto escenario se logra instalando TS(Tripsaver) en líneas laterales que combina técnicas de quemado y ahorro de fusibles y actúa como un mini reconectador. Brinda una amplia variedad de curvas de coordinación para sus cuatro disparos, lo que conduce a una reducción de los falsos cortes sostenidos y la duración de las interrupciones. Sin embargo, esta es un arma de doble filo que puede ser una tarea compleja para lograr una adecuada coordinación. Además, estresa y agrega caídas de voltaje a los dispositivos aguas abajo debido a sus varias operaciones de reconexión.

El último escenario es aplicar FS en líneas laterales con un fusible asociado para actuar como operación O-C. Aunque esta configuración da como resultado una reducción de la duración de las interrupciones y que conducen a una reducción sensible en el costo de mantenimiento, no elimina los riesgos de incendio de los fusibles y las operaciones

de mantenimiento. Además, no mejora el número de clientes afectados o frecuencia de cortes.

Realizando un nuevo enfoque para dar solución a los problemas del escenario anteriormente descrito podemos proponer lo siguiente:

Fusesaver -Recloser: Todos los inconvenientes anteriores se pueden superar utilizando la aplicación FS sin ningún fusible asociado (modo O-CO) a través del cual se puede coordinar con el reconectador del alimentador principal. Es la solución más rentable para optimizar la confiabilidad y minimizar los costos operativos de las redes aéreas de MT. Este enfoque elimina los problemas de fusibles. Además, no aplica tensiones ni caídas de voltaje en los dispositivos aguas abajo ni tiene complejidad de coordinación ya que FS tiene solo dos operaciones de disparo con dos curvas de protección.

FS puede verse como un disyuntor monofásico de vacío de media tensión para exteriores más rápido del mundo que se instala en líneas radiales. FS está diseñado para tener dos modos de operación: con fusible asociado o modo abierto-cerrado (O-1s-C) y sin fusible asociado o modo abierto-cerrado (O-2s-CO). En el primer caso, el FS se conecta en serie con el fusible para evitar que se funda en fallas transitorias. Cuando FS detecta una falla, se abre durante un tiempo muerto ajustable (de 1 s a 30 s) que permite borrar una falla transitoria. Luego FS vuelve a cerrar para energizar la línea. Sin embargo, si la falla es permanente, FS no se abrirá nuevamente y dejará que el fusible se funda. En el segundo modo, el fusible se reemplaza por FS y realiza la misma función para fallas transitorias, pero con un tiempo muerto (de 2s a 30s). Pero si la falla es sostenida, FS abrirá nuevamente para desconectar la línea lateral hasta que el personal de línea repare la falla.

Puede recuperar todos los datos y eventos de FS y luego reenviarlos al sistema SCADA a través de una comunicación de largo alcance. Además, puede recibir comandos del sistema SCADA y reenviarlos a los FS a través de comunicaciones de corto alcance. Esto permite que la empresa de servicios públicos tenga una accesibilidad completa para monitorear la línea, recopilar información en línea y enviar comandos para controlar la operación.

Básicamente, FS es un interruptor automático simple, liviano y rentable con protección integrada, comunicación bidireccional y sistema de control. La unidad de control remoto (RCU) es una estación de almacenamiento de datos que es responsable de comunicarse con todos los FS en la línea y el sistema SCADA a través de comunicaciones bidireccionales, como se ilustra en la imagen.

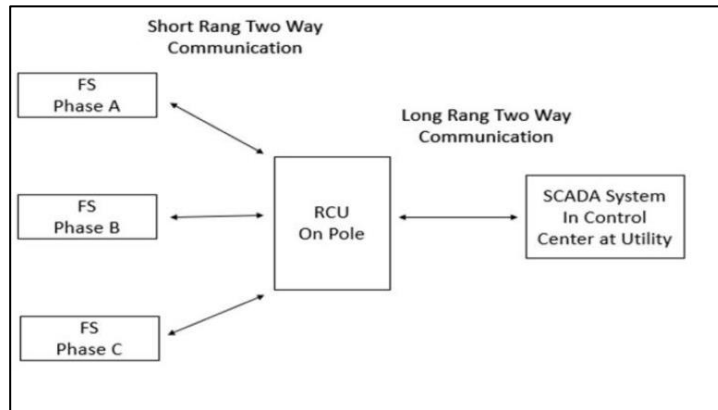


Figura. 6.1: Esquema de control con módulo de comunicación RCU

Como se mencionó anteriormente el estudio se llevó a cabo en Egipto en la región de “Danlangat”, específicamente en la línea radial de “El Makaber”, la cual tiene un Recloser en ramal principal y acaba en dos ramales. El alimentador parte de una sub estacion de 66/11kV con una longitud de 60km, la cual consta de 92 transformadores y tiene aproximadamente 7360 clientes atendidos, mientras la derivación tiene una longitud de 18km, 30 transformadores y 2400 clientes.

Para el estudio se recolectaron datos de interrupciones tanto del ramal como de la derivación, 3 meses antes y dos meses después de la instalación de los FS (octubre 2019-febrero 2020). Y dando como resultado los datos siguientes.

Histórico fallas transitorias y permanentes en EL MAKABER			
	Mes	Fallas Permanentes	Fallas transitorias
Antes FS	oct-19	17	6
	nov-19	9	1
	dic-19	17	38
Después FS	ene-20	4	10
	feb-20	1	3

Tabla 6.1: Histórico de fallas transitorias y permanentes.

Podemos observar un evidente cambio en el número de fallas Permanentes y transitorias las cuales obviamente se ven reflejadas en las variaciones de los índices de

fiabilidad, cabe destacar que en la localidad los meses de octubre y noviembre de 2019 fueron clasificados como de vientos normales y diciembre y enero como de tormentas fuertes.

Tomando el mes de octubre y noviembre respectivamente en condiciones normales el SAIFI registra 17 y 9 fallas permanentes y el SAIDI 42.275 y 13.483 horas de interrupción y CAIDI de 2.486 y 1.498 horas por cada corte etc., a continuación, un cuadro resumen de los valores respectivo a los índices de fiabilidad en los meses de estudio.

	SAIFI inti/mes	SAIDI h/mes	CAIDI inti/mes	CTAIDI h/mes	MAIFI inti/mes	ASAI (%)
oct-19	17	42.275	2.486	17	6	0.94
nov-19	9	13.483	1.498	9	3	0.98
dic-19	17	15.958	0.938	17	52	0.977
ene-20	1.304	0.478	0.366	4	3.26	0.999
feb-20	0.326	0.392	1.204	1	0.978	0.999

Tabla 6.2: Resumen de indicadores.

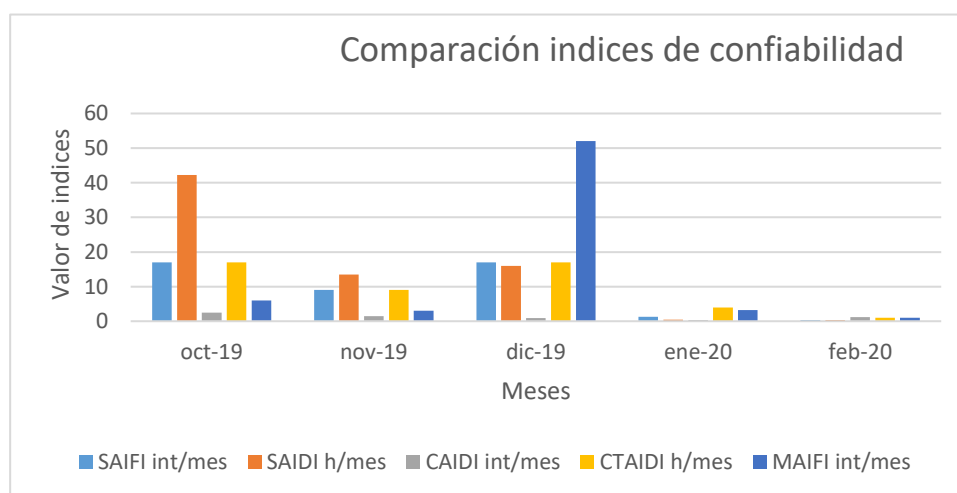


Figura. 6.2 Comparación índices de confiabilidad.

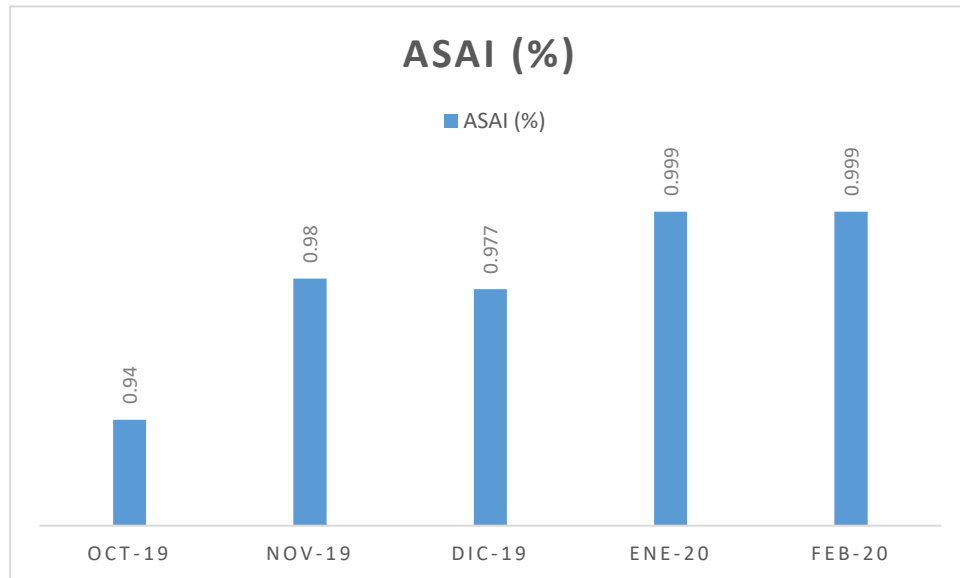


Figura 6.3 variación del índice global ASAI.

Como podemos observar en los resultados en el tiempo de estudio los índices tienden a mejorar el rendimiento de la red de manera significativa así como su disponibilidad y grado de fiabilidad, agregando que en este caso en particular los clientes que están conectados fuera de esta derivación no perciben el accionamiento del FS, que se cuente con el sistema RCU es una gran ventaja ya que se registros de datos en tiempo real de corrientes de línea , el estado del FS , tipo de curvas configuradas etc.

6.1 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

Del análisis de confiabilidad anterior se hará unas estimaciones de la reducción en los costos de mantenimiento por una empresa distribuidora de electricidad. Para realizar estimaciones es necesario definir los indicadores globales, como se describe en el capítulo I.

Para realizar el análisis técnico operativo se listará una serie de recursos e insumos utilizados que están dentro de costos de una distribuidora.

Sabemos que cuando una línea de distribución eléctrica entra en contacto con elementos naturales producen fallas, estas pueden ser permanentes o transitorias. Al momento de una falla en la red eléctrica, el personal técnico a cargo de la distribuidora tiene la tarea de reestablecer el sistema yendo a buscar el motivo de la falla. Siendo el 80% de tipo transitorio.

Estimación de costos operativos por falla de distribuidoras por fallas transitorias que se convierten en fallas permanentes sin el uso de FUSESAVERS.

Recurso operativo	cantidad	\$/mes 2018	\$/ mes 2022
Auxiliar	1	\$ 520.00	\$ 554.84
Técnico en instalación de líneas de media tensión	1	\$ 780.00	\$ 832.26
Depreciación de vehículo	1	\$ 100.00	\$ 106.70
Costos de transporte, mantenimientos de vehículos etc.	1	\$ 758.56	\$ 809.38
Depreciación de herramientas y EPP	1	\$ 83.33	\$ 88.91
COSTO MENSUAL SUB TOTAL			\$ 2,392.10
Costo por hora \$/hora			\$ 13.59

Tabla 6.3 costos operativos por hora.

Tomando como referencia costos operativos en las distribuidoras de 2018 y extrapolándolos a 2022 mostrados en la tabla 6.4, los cuales corresponden a un auxiliar un técnico en instalación de líneas de media tensión, sus costos operativos y de depreciación, luego se divide entre las horas trabajadas por mes para obtener el valor de costo por hora.

Indicador antes del uso de fusesaver	dic-19	costo por hora \$/hora	tiempo operativo (en horas)	TOTAL	estimación con 700 circuitos
SAIDI horas/mes	15.958	\$ 13.59	8.50	\$ 332.38	\$ 232,668.95
Numero de interrupciones permanentes	17				

Indicador después de instalar fusesaver	ene-20	costo por hora \$/hora	tiempo operativo horas	TOTAL	estimación con 700 circuitos
SAIDI horas/mes	0.478	\$ 13.59	2	\$ 33.68	\$ 23,573.21
Numero de Interrupciones permanentes	4				

Porcentaje de disminución de costos operativos por circuito	89.87%
---	--------

Tabla 6.4 Porcentaje de cambio.

Retomando los datos de la tabla 6.2, se crea la siguiente tabla 6.6, donde se muestran los porcentajes de reducción de los indicadores globales.

INDICADOR	% de cambio
SAIFI	-92.33
SAIDI	-97.00
CAIDI	-60.98
CTAIDI	-76.47
MAIFI	-93.73
ASAI	2.25

Tabla 6.5 porcentajes de variación de índices.

Para deducir los costos operativos una vez calculado el costo por hora del equipo técnico se debe obtener el tiempo que el personal se dedica a la tarea de la puesta en marcha del punto afectado, tomando de base los indicadores estadísticos como el SAIDI (horas/mes) y el número de interrupciones permanentes, podemos obtener un promedio de cuanto tarda en reparar a una falla y teniendo el dato que en promedio el equipo técnico se tarda 1.5 horas en ida y vuelta por falla además de la resolución de esta misma, obtuvimos un dato de 8.5 horas por 17 fallas permanentes en el mes de diciembre, luego en el mes de enero y con el dispositivo instalado tenemos que solo se

necesitaron 2 horas para 2 interrupciones permanentes , obteniendo una disminución en costos operativos con la implementación del Fusesaver del 89.97%.

Mostrando los indicadores en la tabla 6.4 podemos observar que antes de la instalación del Fusesaver se tuvieron 15.9h/mes con 17 fallas permanentes mientras que luego de su instalación solo 0.478 h/mes con solo 4 fallas permanentes. De lo cual podemos deducir que a largo plazo la implementación del Fusesaver disminuye significativamente el SAIDI (horas/mes) y tiende a mantener el CAIDI(interrupciones/mes) o a aumentarlo levemente por los recierres que el dispositivo pueda realizar para despejar la falla en cuestión pero eliminando en caso de fallas transitorias el costo operativo que se tendría al tener una protección convencional.

CONCLUSIONES.

- Dado lo exclusivo del dispositivo de protección en estudio “fusesaver”, este no cuenta con un modelo de simulación ni obtención de las curvas de protección fuera de su software propietario, por lo tanto, para la coordinación de dicho dispositivo, basándonos en el manual del fabricante, creamos nuestros propios modelos de curva corriente-tiempo correspondientes a 15, 20, 25 y 30 Amperios, cumpliendo las especificaciones que ellos ofrecen, dichas curvas fueron creadas para coordinarse con los fusibles más utilizados en las líneas de distribución a nivel nacional, permitiéndonos simular su coordinación con diferentes dispositivos de protección como relé con interruptores de potencia, Recloser, fusibles etc. en ETAP
- Ya que la información sobre el uso de estos dispositivos a nivel nacional es reciente, así como sus estadísticas de operación, a la que no hemos tenido acceso por motivos de confidencialidad, se solicitó en diferentes lugares y no se obtuvo respuestas favorables, por lo cual, utilizamos los datos estadísticos de la aplicación de esta tecnología en un paper del país de Egipto [5] , el estudio se realizó en los últimos dos años, observando una variación con tendencia a la baja del 92%, lo cual eleva la disponibilidad y confiabilidad de la red, así como también se reduce el número de clientes afectados por una falla de tipo transitorio ya que no se dispara el recloser aguas arriba.
- Dado que el fusesaver está clasificado como uno de los dispositivos más rápido de protección con su tubo de maniobra al vacío le toma solo medio ciclo es decir 8ms en despejar una falla, además el actuador magnético puede desengatillarse en menos de 2ms y tener tensión cero en los bornes en otros 4ms para un total de 6ms, por lo cual es sumamente versátil para coordinarse con recloser y fusibles ya que este se ubica fácilmente en la curva antes que estos dispositivos , permitiendo que el recloser no actúe ni que el fusible inicie su fusión.
- En investigaciones y visitas de campo a nivel local se ha observado que el fusesaver, se ha instalado en lugares de alto índice de violencia evitando

arriesgar al personal técnico de distribuidoras, independientemente de la cantidad de clientes conectados al ramal.

- Se ha demostrado técnicamente y en un caso de aplicación real que la implementación de esta tecnología aumenta de manera muy significativa la confiabilidad respecto a la obtenida con fusibles de expulsión aun en condiciones climáticas complejas, dan un valor agregado trasladando el concepto de SmartGrid a las líneas de distribución, disminuye los costos operativos y da la posibilidad de monitorear los valores de la red si se instala el módulo RCU.

RECOMENDACIONES

- Para obtener una mayor incorporación en redes inteligentes utilizando fusesaver, el dispositivo debe de instalarse con la unidad de comunicación remota RCU. En la región los fusesaver que se han instalado notablemente se observa que no cuentan con este módulo, posiblemente para no recurrir en mayor inversión, ya que esta unidad tiene que estar conectada a un sistema SCADA.
- La aplicación del fusesaver es más eficaz en circuitos radiales que cuenten con un historial alto de fallas transitorias, obteniendo el retorno de inversión más rápida refiriéndonos a costos operativos y energía no servida ENS.
- Se recomienda la instalación directamente en la línea ya que no se necesita accesorios como la instalación en cruceta, poste y herrajes adicionales, para una instalación más rápida sobre la instalación existente sin perder la efectividad del mismo.

BIBLIOGRAFIA.

[1] IEEE [Std.1159] Intelligent Identification of Voltage Variation Events Based on IEEE Std 1159-2009 for SCADA of Distributed Energy System

[2] IEEE [Std.1250]. Guide for Identifying and Improving Voltage Quality in Power Systems IEEE 1250

[3] SIGET “norma técnica de interconexión eléctrica y acceso de usuarios finales a la red de transmisión acuerdos 30-e-2011, 796-e-2013 y 117-e-2017”

[4] Fusesaver® Medium-voltage circuit breaker installation and operation manual.

[5] A Coordinated Recloser-Fusesaver Method for Reliability Enhancement of Distribution Networks.