



INGENIERIA ELÉCTRICA

REPORTE DE RESIDENCIA

**“ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA INSTALACION DE EQUIPOS EPROSEC
(EQUIPOS DE PROTECCION Y SECCIONAMIENTO) EN REDES DE MEDIA
TENSION EN EL AREA DISTRIBUCION CENTRO DE LA ZONA
VILLAHERMOSA.”**

ASESOR INTERNO:

ING. JULIO ENRIQUE MEGCHUN VAZQUEZ.

ASESOR EXTERNO:

ING. JESUS ERVIN VELASCO HERNANDEZ

ALUMNO(A):

QUINTANA MAYO CARLOS ENRIQUE.

NUMERO DE CONTROL:

13270960

ZONA DE DISTRIBUCION VILLAHERMOSA, TABASCO.

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, DICIEMBRE DEL 2017.

TERMINOLOGIA

A tierra	Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.
Abrir	Es desconectar en forma manual o remota un parte del equipo para impedir el paso de la corriente eléctrica.
Accesible	Que admite acercarse; es decir no está protegido por puertas con cerradura, ni por elevación, ni por otro medio eficaz.
Acometida	Tramo de línea que conecta la instalación del usuario a la línea suministrada.
Aislar	Interponer un elemento no conductor para evitar el flujo de la corriente eléctrica de un punto a otro.
Alinear	Instalar postes o estacas en una trayectoria recta.
Amarre	Alambre blando para sujetar los conductores a los aisladores de paso.
Amortiguar	Acción de atenuar en los conductores aéreos la amplitud de una onda causada por viento, golpe o vibración.
Apasionar	Compactación del terreno para fijar un poste o ancla.
Área de baja tensión	Conjunto de transformador, línea de baja tensión y acometidas.
Área urbana	Son las localidades o áreas con 5000 habitantes o más; o bien, las cabeceras municipales independientemente del número de habitantes.
Área de media tensión	Es el término que se usa para referirse a instalaciones eléctricas con tensión nominal de entre 1 y 30kV.
Área de control	Es la entidad que tiene a su cargo el control y la operación de un conjunto de centrales generadoras, subestaciones y líneas de transmisión de un área geográfica determinada por el grupo director de la CENACE.
Autoridad competente	Secretaría de Energía; Dirección general de Gas L.P y de instalaciones eléctricas conforme con sus atribuciones.

Autoabastecimiento	Es la energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales.
Autotransformador	Transformador con sus bobinados conectados en serie. Su conexión tiene efecto en la reducción de su tamaño.
Balancear carga	Distribuir equitativamente la carga entre las fases.
Banco de ductos	Estructura formada por dos o más ductos inmersos en el concreto.
Bloqueo	Es el medio que impide el cambio parcial o total de condición de operación de un dispositivo, equipo o instalación de cualquier tipo.
Boquilla	Aislamiento rígido que sirve para conectar los conductores de entrada o salida al equipo eléctrico.
Banco de transformación	Conjunto de tres transformadores o autotransformadores, conectados entre sí para que operen de la misma forma que un transformador o autotransformador trifásico.
Barra colectora (bus)	Conductor eléctrico rígido, ubicado en una subestación con la finalidad de servir como conector de dos o más circuitos eléctricos.
Cable semiaislado	Es un cable forrado, sin pantalla metálica que se debe usar en forma similar a un conductor desnudo.
Canalización subterránea	Es la combinación de ductos, banco de ductos, registros, pozos, bóvedas y cimentación de transformadores que conforman la obra civil para instalaciones subterráneas.
Catenaria	Curva que forma un conductor colgado de dos puntos.
Cepa	Perforación en el terreno para hincar un poste o enterrar un ancla.
Cerrar	Es el término que se aplica a equipos de seccionalización, significa la maniobra que ejecuta el operador para operar la conexión de un circuito eléctrico a otro.
Cimentar	Agregar a una cepa materiales diferentes al extraído para mejorar la rigidez del terreno.
Coca	Vuelta de un cable o hilo enredado.
Conductor aislado	Conductor rodeado de un material de composición y espesor reconocidos por la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, instalaciones eléctricas (utilización), como aislamiento eléctrico.

Conductor de puesta a tierra de los equipos	Conductor utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al electrodo de puesta a tierra.
Conductor desnudo	Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.
Conductor forrado	Conductor rodeado de un material de composición o espesor no reconocidos por la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas (utilización), como aislamiento eléctrico.
Conductor múltiple	Es el formado por un conductor desnudo o soporte y uno o varios conductores de aluminio o cobre aislados y dispuestos helicoidalmente alrededor del conductor desnudo.
Conectador	Dispositivo para unir electromecánicamente dos conductores.
Conexión a tierra	Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.
Cuchilla	Es el dispositivo cuya función consiste en conectar y desconectar un equipo sin carga.
Cuchilla de operación con carga	Es el dispositivo equipado con los accesorios necesarios para interrumpir corrientes de carga, cuya función consiste en conectar y desconectar un equipo.
Cuchilla de puesta a tierra	Es el dispositivo utilizado para conectar las partes metálicas no conductoras de corriente eléctrica de los equipos, canalizaciones y otras envolventes al conductor del sistema de puesta a tierra, al conductor del electrodo de puesta a tierra o ambos, en los equipos de acometida o en el punto de origen de un sistema.
Deflexión	Cambio de dirección horizontal o vertical de una línea. El ángulo de deflexión es el que forma el eje de la nueva dirección con el eje de la anterior.
Demanda eléctrica	Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia, normalmente expresado en mega watts (MW) o kilowatts (kW)
Densidad de rayos a tierra	Número de descargas atmosféricas en un km ² que inciden en una región en un periodo de un año.

Derecho de vía	Es una franja de terreno que se ubica a lo largo de la línea aérea cuyo eje longitudinal coincide con el trazo topográfico de la línea. Su dimensión transversal varía de acuerdo con el tipo de estructura, con la magnitud y desplazamiento lateral de la flecha, y con la tensión eléctrica de operación.
Desenergizar	Interrumpir la tensión eléctrica a una línea o equipo.
Diferencia de potencial	Tensión entre dos puntos. Es la responsable de que circule corriente por el conductor, para que funcionen los receptores a los que está conectada la línea.
Disparo	Es la apertura de un dispositivo por funcionamiento de la protección para desconectar uno o varios elementos del Sistema Eléctrico Nacional.
Distribución	Parte del sistema eléctrico en alta, media y baja tensión, que tiene como objetivo el suministro de la energía eléctrica a los consumidores finales.
Disturbio	Es la alteración de las condiciones normales del SEN originada por caso fortuito o fuerza mayor, generalmente breve y peligrosas, de las condiciones normales del Sistema Eléctrico Nacional o de una de sus partes y que produce una interrupción en el servicio de energía eléctrica o disminuye la confiabilidad de la operación.
Edificio	Construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para otros usos.
Efecto joule	Calentamiento del conductor al paso de la corriente eléctrica por el mismo. El valor producido en una resistencia eléctrica es directamente proporcional a la intensidad, a la diferencia de potencial y al tiempo.
Electrodo	Cuerpo metálico conductor o conjunto de cuerpos conductores agrupados, en contacto último con el suelo y destinados a establecer una conexión con el mismo.
Empalme	Conexión eléctrica y mecánica entre 2 conductores.
Empotrar	Fijar un poste en el terreno.
Encerrado	Rodeado por una carcasa, envolvente, cerca o paredes para evitar que las personas entren accidentalmente en contacto con partes energizadas.

Energía	La energía es la capacidad de los cuerpos o conjunto de estos para efectuar un trabajo. Todo cuerpo material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos que no son otra que manifestaciones de alguna transformación de la energía. // Capacidad de un cuerpo o sistema para realizar un trabajo. La energía eléctrica se mide en kilowatt-hora (kWh).
Energía neta	Energía necesaria bruta, menos la energía de los usos propios de la central.
Energizado (a)	Condición de un circuito eléctrico en el que existe diferencial de potencial. // conectado (a) eléctricamente a una fuente de diferente potencial.
Energizar	Significa permitir que el equipo adquiera potencial eléctrico.
Entorche	Unión de dos cables o alambres trenzados entre sí.
EPROSEC	Equipo de protección y seccionamiento.
Equipo	Termino general que incluye dispositivos, aparatos y productos similares utilizados como partes o en conexión con una instalación eléctrica.
Equipo disponible	Es el que no está afectado por alguna licencia y que puede ponerse en operación en cualquier momento.
Equipo librado	Es aquel en que se ejerció la acción de librar.
Equipo muerto	Es el que no está energizado.
Equipo vivo	Es el que esta energizado.
Eslabón fusible	Dispositivo de protección contra sobre corriente con una parte que se funde cuando se calienta por el paso de una sobre corriente que circule a través de ella e interrumpe el paso de la corriente eléctrica en un tiempo determinado.
Espaciamiento	Distancia de centro a centro.
Estabilidad	Es la condición en la cual el Sistema Eléctrico Nacional o una parte de el permanece unida eléctricamente ante la ocurrencia de disturbios.
Estacar	Señalar el punto en donde se debe de localizar una estructura.

Estación	Es la instalación que se encuentra dentro de un espacio delimitado que tiene una o varias de las siguientes funciones: generar, transformar, recibir, transmitir y distribuir energía eléctrica.
Estructura de transición	Aquellos tramos de cable que estando conectados o formando parte de un sistema de líneas subterráneas, quedan arriba del nivel del suelo y están provistos de terminales, generalmente interconectadas a instalaciones aéreas, y que se soportan en estructuras.
Factor de carga	Relación entre el consumo en un periodo de tiempo especificado y el consumo que resultaría de considerar la demanda máxima de forma continua en ese mismo periodo.
Factor de demanda	Relación entre la demanda máxima registrada y la carga total conectada al sistema. //Relación entre la potencia máxima absorbida por un conjunto de instalaciones durante un intervalo de tiempo determinado y la potencia instalada de este conjunto.
Factor de operación	Relación entre el número de horas de operación de una unidad o central entre el número total de horas en el periodo de referencia.
Factor de planta	Conocido también como factor de utilización de una central, es la relación entre la energía eléctrica producida por un generador o conjunto de generadores, durante un intervalo de tiempo determinado y la energía que habría sido producida si este generador o conjunto de generadores hubiese funcionado durante ese intervalo de tiempo, a su potencia máxima posible en servicio. Se expresa generalmente en por ciento.
Factor de potencia	Coseno de ángulo formado por el desfase existente entre la tensión y la corriente en un circuito eléctrico alterno; representa el factor de utilización de la potencia eléctrica entre la potencia aparente o de placa con la potencia real.
Falla	Es una alternación o daño permanente o temporal en cualquier parte del equipo, que varía sus condiciones normales de operación y que generalmente causa un disturbio. //Perturbación que impide la operación normal.
Flecha	Distancia medida verticalmente desde el punto más bajo del conductor hasta una línea recta imaginaria que une sus dos puntos de soporte.
Frecuencia	Número de veces que la señal alterna se repite en un segundo. Su unidad de medida es el Hertz (Hz).

Fusible	Aparato de protección contra circuitos que, en caso de circular una corriente mayor de la nominal, interrumpe el paso de la misma.
Gabinete de media tensión	Envoltura diseñada para proteger y soportar equipo que alimenta transformadores o servicios de media tensión. Son de tipo modular.
Herraje	Accesorio, diseñado fundamentalmente para desempeñar una función mecánica.
Hincar un poste	Introducir un poste en su cepa.
Instalación	Es la infraestructura creada por el sector eléctrico, para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, así como la de los permisionarios que se interconectan con el sistema.
Interconexión	Es la conexión eléctrica entre dos áreas de control o entre instalación de un permisionario y un Área de control.
Interrupción	Es la suspensión del suministro de energía eléctrica debido a causas de fuerza mayor, caso fortuito, a la realización de trabajos de mantenimiento, ampliación o modificación de las instalaciones, a defectos en las instalaciones del usuario, negligencia o culpa del mismo, a la falta de pago oportuno, al uso de energía eléctrica a través de instalaciones que impidan el funcionamiento normal de los instrumentos de control o de medida, a que las instalaciones del usuario no cumplan con las normas técnicas reglamentarias, el uso de energía eléctrica en condiciones que violen lo establecido en contrato respectivo, cuando no se haya celebrado contrato respectivo; y cuando se haya conectado un servicio sin la autorización de la Comisión.
Kilowatt (*)	Es un múltiplo de la unidad de medida de la potencia eléctrica y representa 1,000 watts; se abrevia kW.
Kilowatt-hora (*)	Unidad de energía utilizada para registrar los consumos.
Librar	Es dejar un equipo sin potencial eléctrico, vapor, agua a presión y sin otros fluidos peligrosos para el personal, aislando completamente el resto del equipo mediante interruptores, cuchillas, fusibles, válvulas y otros dispositivos, asegurándose además contra la posibilidad de que accidental o equivocadamente pueda quedar energizada o a presión valiéndose para ello, de bloqueos y colocación de tarjetas auxiliares.

Licencia	Es la autorización que se concede a un trabajador para que este y/o el personal a sus órdenes se protejan, observen o ejecuten un trabajo en relación con un equipo o parte de él, o en equipos cercanos, “en estos casos se dice que el equipo estará en licencia.
Línea aérea	Es aquella que está constituida por conductores desnudos, forrados o aislados, tendidos en el exterior de edificios o en espacios abiertos y están soportados por postes u otro tipo de estructuras con los accesorios necesarios para su fijación, separación y aislamiento de los mismos conductores.
Línea de comunicación	Aquella que se usa para servicio de comunicación o de señales, que opera a no más de 1 kV entre fases.
Línea de media tensión	Línea cuya tensión eléctrica de operación está entre 1,000 y 34,500V.
Línea de transmisión	Es el conductor físico por medio del cual se transporta energía eléctrica, a niveles de tensión alto y medio, principalmente desde los centros de generación a los centros de distribución y consumo. //Elemento de transporte de energía entre dos instalaciones del sistema eléctrico.
Línea urbana	Línea de media tensión construida en área urbana o población.
Longitud del claro	Distancia horizontal entre dos estructuras consecutivas de una línea aérea.
Maniobra	Se entenderá como lo hecho por un operador, directamente o a control remoto, para accionar algún elemento que pueda o no cambiar él está y/o el funcionamiento de un sistema, sea el eléctrico, neumático, hidráulico o de cualquier otra índole.
Mantenimiento	Es el conjunto de actividades para conservar las obras e instalaciones en adecuado estado de funcionamiento.
Mantenimiento programado	Conjunto de actividades que se requiere anualmente para inspeccionar y restablecer los equipos que conforman a una unidad generadora. Se programa con suficiente anticipación, generalmente a principios del año y puede ser atrasado o modificado de acuerdo a las condiciones de operación.
Neutro	Punto de referencia eléctrico cuyo potencial con respecto a la tierra es igual a cero en sistemas trifásicos balanceados.

Operación de emergencia	Es la condición de operación durante los disturbios.
Partes vivas	Conductores, barras conductoras, terminales o componentes eléctricos sin aislar o expuestos, con potencial y representan riesgo de descarga eléctrica.
Persona calificada	Es aquella persona física cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, calculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica han sido comprobados en términos de la legislación vigente o por medio de un procedimiento de evaluación de la conformidad bajo la responsabilidad del usuario o propietario de las instalaciones.
Perturbación	Acción y efecto de trastornar el estado estable del sistema eléctrico.
Planchar conductor	Eliminar deformaciones a un conductor.
Plomear	Alinear el eje longitudinal de un poste con la vertical.
Pozo de visita	Recinto subterráneo de amplias dimensiones, accesible desde el exterior, para alojar cables y sus accesorios y equipo, generalmente de transformación y donde se ejecutan maniobras de instalación, operación y mantenimiento.
Protección	Es el conjunto de relevadores y aparatos asociados que disparan los interruptores necesarios para separar equipo fallad, o que hacen operar otros dispositivos como válvulas, extintores y alarmas, para evitar que el daño aumente de proporciones o que se propague.
Puente	Conexión aérea sin tensión mecánica para unir eléctricamente dos conductores.
Punto de interconexión eléctrica	Es el punto donde se conviene la entrega de energía entre dos entidades.
Ramal	Línea que se deriva de otra principal.
Red de distribución	Es un conjunto de alimentadores interconectados y radiales que suministran a través de los alimentadores la energía a los diferentes usuarios.
Referencia de tierra	Punto de referencia cuyo potencial eléctrico es igual a cero.

Registro	Recinto subterráneo de dimensiones reducidas, donde se aloja equipo, cables y accesorios para ejecutar maniobras de instalación, operación y mantenimiento.
Remate	Fijación terminal de un conductor con tensión mecánica a una estructura.
Restaurador	Es un dispositivo utilizado para interrumpir corrientes de falla, tiene la característica de discriminar las fallas permanentes de las instantáneas a través de apertura y recierres en forma automática, bajo una secuencia predeterminada sin necesidad del interruptor del alimentador.
Retenida	Elemento que compensa la tensión mecánica de los conductores en la estructura.
RIJ	Reunión de inicio de jornada.
RIM	Reunión de inicio de maniobra.
Seccionador	Es un dispositivo utilizado para interrumpir corrientes de falla, tiene la característica de discriminar las fallas permanentes de las instantáneas a través de apertura y recierres en forma automática, bajo una secuencia predeterminada sin necesidad del interruptor del alimentador.
Separación	Es la distancia de superficie a superficie.
Sistema eléctrico	Es el conjunto de equipos, dispositivos, aparatos, accesorios, materiales y conductores de líneas y circuitos de distribución, comprendidos desde la fuente hasta los equipos de utilización.
Sobrecarga	Funcionamiento de un equipo excediendo su capacidad nominal, de plena carga, o de un conductor que excede su capacidad de conducción de corriente nominal.
Tablero de control	Dentro de una subestación, son una serie de dispositivos que tienen por objeto sostener los aparatos de control, medición y protección, el bus mímico, los indicadores luminosos.
Tendido de conductor	Montaje de conductores en los apoyos de una estructura.
Tensar un cable	Aplicar la tensión mecánica correspondiente a la temperatura de instalación.

Tensión	Potencial eléctrico de un cuerpo. La diferencia de tensión entre dos puntos produce la circulación de corriente eléctrica cuando existe un conductor que los vincula. Se mide en Volt (V), la tensión de suministro en los hogares de México es de 110V.
Tensión eléctrica	Es la mayor diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualesquiera de la instalación. Es el mayor valor eficaz (raíz cuadrática media) de la diferencia de potencial entre dos conductores determinados.
Tensión eléctrica a tierra	Es la tensión eléctrica entre un conductor dado y aquel punto o el conductor del circuito que es puesto a tierra. En circuitos no puesto a tierra es la mayor diferencia de potencial entre un conductor determinado y otro conductor de referencia del circuito.
Tensión nominal eléctrica	Valor nominal asignado a un circuito o sistema para la designación de su clase de tensión eléctrica.
Transformador	Dispositivo que sirve para convertir el valor de un flujo eléctrico a un valor diferente. De acuerdo con su utilización se clasifica de diferentes maneras.
Transmisión	Es la conducción de energía eléctrica desde las plantas de generación o puntos de interconexión hasta los puntos de entrega para su distribución.
Usuario	Persona física o moral que hace uso de la energía eléctrica proporcionada por el suministrador, previo contrato celebrado por las partes.

Índice

	Terminología.	1
1	Introducción.	14
1.1	Antecedentes.	14
1.2	Estado del Arte.	15
1.3	Justificación.	16
1.4	Objetivos.	16
1.5	Metodología.	18
2	Fundamento teórico.	20
2.1	Tipos de fallas.	20
2.2	Factores que influyen en la severidad de la falla.	21
2.3	Corrientes de corto circuito.	22
2.4	Protección con relevadores.	27
2.4.1	Calibración de los relevadores.	33
2.4.2	Corriente mínima de disparo de los relevadores de tierra.	33
2.5	Protección con fusibles.	33
2.5.1	Curvas características de fusibles.	36
2.5.2	Fusibles de expulsión.	43
2.5.3	Fusibles limitadores de corriente.	45
2.5.4	Selección de fusibles.	49
2.6	Protección con restauradores.	49
2.7	Seccionador	51
3	Desarrollo.	52
3.1	Análisis para la debida configuración de la red de media tensión	52
3.1.1	Análisis de corriente en los circuitos urbanos de media tensión en Villahermosa Tabasco.	53
3.1.2	Análisis de posibles fallas de interrupciones en los circuitos urbanos de media tensión	54
3.2	Datos para determinar que circuitos de media tensión se debe instalar un equipo EPROSEC.	55
3.3	Análisis y determinación del tiempo de restablecimiento del suministro (TRS).	56
4	Resultados y Conclusiones.	57
	Conclusion.	65
	Referencia bibliográfica.	66
	Anexos	67
	Anexo A: Supervision de actividades de mantenimiento sobre el circuito PLL-4030.	67

1.Introducción

1.1 Antecedentes

El suministro de energía eléctrica a los clientes en México, está regido por la ley de servicio público y su reglamento en donde solo se especifican los límites superior e inferior del voltaje de suministro en el punto de entrega del usuario. Históricamente, la calidad de la energía un problema mayor, se consideraba que excepto por la continuidad, el suministro para la mayoría de los clientes de la energía eléctrica era satisfactorio.

En CFE siempre se ha contratado el suministro a los clientes con una continuidad no especificada pero interpretada como perfecta, se podría decir sin interrupciones. Sin embargo, el incremento significativo en el número e importancia de las cargas, ha dado como resultado una mayor demanda por los clientes en la calidad del suministro, ante tal necesidad se implementaron compromisos de servicio con los clientes.

Obedeciendo la necesidad de tener un estándar a nivel internacional, para uniformizar la calidad y estudio del servicio eléctrico, la comisión federal de electricidad basa su eficiencia en diversos indicadores que nos permiten conocer la operación óptima de los equipos con un mínimo de mantenimiento, incluyendo los desarrollos tecnológicos en materiales y equipos para reducción del TIU (Tiempo de Interrupción por Usuario).

Este número de normas en la calidad del servicio han sido creadas con la finalidad de garantizar la seguridad de los sistemas de transmisión y distribución, al mismo tiempo establecer estándares de calidad en el servicio eléctrico los cuales están divididos en normas de calidad de transmisión y normas de calidad en distribución teniendo como principio parámetros internacionales como es el caso del SAIDI (Tiempo total promedio de interrupción por cliente, por año), anteriormente TIU.

Las interrupciones en el suministro eléctrico pueden ser causadas por fallas en equipos, tales como aislamientos, transformadores, protección y seccionamiento, fallas en la generación de energía eléctrica. Así mismo pueden ser resultado de cuestiones climatológicas de igual manera por árboles y mayoritariamente por fauna, provocando la apertura en los circuitos de las redes de distribución eléctrica.

La confiabilidad en la red de distribución se evalúa en función de la frecuencia de las interrupciones, la potencia interrumpida en cada una de ellas y el tiempo total que se encuentre fuera de servicio el circuito afectado. Todas las desconexiones que afecten a empresas y a clientes importantes, impactan directamente al SAIDI, las cuales al no ser atendidas a tiempo generan un incremento en el indicador estándar saliendo automáticamente de la meta.

1.2 Estado del Arte

Alejandro Garcés y Oscar Gómez Carmona de la Universidad Tecnológica de Pereira, en el 2008 [1] publicaron un artículo llamado “Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de alimentadores primario” en el que se sintetiza métodos para la reducción del tiempo de afectación, tomando como medida la automatización de las redes, reconfiguración del sistema tras el fallo, sistemas de localización de fallos y reducción del tiempo de respuesta.

Rubén I. Bolaños, Ricardo Alberto Hincapié Isaza y Ramón Alfonso Gallego de la Universidad Tecnológica de Pereira, en 2013 [2], presentaron una metodología para resolver el problema de la restauración del servicio en sistemas de distribución de energía eléctrica, el cual es planteado como un modelo de optimización no lineal entero mixto. El problema es solucionado empleando técnicas heurísticas a través de indicadores de sensibilidad que guían el proceso de restauración.

Héctor Raúl Aguilar Valenzuela de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 2015 [3] presenta una tesis, proponiendo la implementación de redes inteligentes basándose en la tecnología Smart grid, con fin en la planeación tecnológica, para la identificación, selección y desarrollo de alternativas, cubriendo así las necesidades de las redes de distribución eléctrica, logrando así la reducción del SAIDI.

Alfredo Espinosa Reza y Salvador G. Castro de la Universidad Autónoma de México, en el 2011 [4] publicaron un artículo al cual llamaron “Automatización de la Distribución: Presente y Futuro”. Proponiendo la implementación de los esquemas propuestos por la Automatización Avanzada de la Distribución (ADA) con objetivo en mejorar la confiabilidad y la calidad de la energía.

La empresa Energía y Sociedad de España en 2010 [5] Elaboró una revista a la cual llamaron “SMARTGRIDS Redes Eléctricas Inteligentes” dando a conocer la implementación de equipos y servicios innovadores, junto con tecnologías de comunicación, control, monitorización, auto-diagnóstico y automatización para optimizar la conexión, así mismo aumentar la confiabilidad de las zonas con fuentes de energía renovable a las redes de distribución.

Los investigadores Morelato y Moticelli en el 2013 [6], presentan las primeras investigaciones en la cual se propone un marco general que permite diseñar algoritmos para resolver un amplio rango de problemas de restauración del servicio en sistemas de distribución. El problema se resuelve por medio de una búsqueda heurística sobre un árbol de decisión binario, la cual es apoyada con reglas heurísticas obtenidas a partir de los operadores de red, que permiten reducir el espacio de búsqueda.

1.3 Justificación

Es necesario la elaboración de un estudio de análisis para determinar la instalación de equipos EPROSEC en los circuitos críticos de la zona urbana de Villahermosa para obtener un criterio óptimo del estado de la red de distribución eléctrica para disminuir de manera considerable la interrupción del suministro eléctrico en los circuitos con mayor incidencia por cuestiones climatológicas, ramas de árboles y fauna que causan la interrupción de la continuidad en la energía eléctrica.

Se tiene por objetivo demostrar que un correcto análisis para determinar la instalación de equipos EPROSEC, es una herramienta capaz de predecir con exactitud el punto correcto, para la instalación de un equipo ya sea de protección o seccionamiento en cada uno de los circuitos críticos, tomando en cuenta los factores que los conllevan: la humedad, flora o faunas. Buscando así la manera de disminuir el tiempo de interrupción por usuarios.

Por las tareas a realizar, este software está integrado o basado en los criterios y reglas para la instalación del equipo de protección y seccionamiento, teniendo en cuenta el cumplimiento de las normas, no dejando a un lado el impacto tanto social como ambiental que pueda presentar la instalación de estos equipos en las redes de distribución eléctrica.

1.4 Objetivo

Realizar un estudio de localización de equipos EPROSEC en los diferentes circuitos de la zona urbana de Villahermosa con la finalidad de observar que los equipos de protecciones y seccionamiento estén debidamente ubicados, de igual manera estén operando de manera óptima y selectiva, haciendo posible la reducción del tiempo de interrupción de usuarios (SAIDI).

Objetivos específicos

Analizar los circuitos críticos de la zona urbana Villahermosa por incidencia de interrupciones para tener una base sobre la cual trabajar.

Aplicar los criterios y las reglas para la implementación del equipo de protección y seccionamiento, de operación local o telecontrolada en los circuitos de media tensión urbanos.

Ejemplificar el restablecimiento del suministro de energía eléctrica, en los segmentos sin daños de los circuitos de distribución de media tensión, cuando se presenta una interrupción.

Minimizar el tiempo de restablecimiento del servicio, para brindar un mejor servicio a los usuarios, disminuir el tiempo de restablecimiento.

Proponer mejoras en la red de distribución de media tensión en base al estudio para la instalación de equipos EPROSEC.

1.5 Metodología

En la figura 1.1 se muestra el diagrama a bloques del método analítico para el análisis para determinar la instalación de equipos EPROSEC.

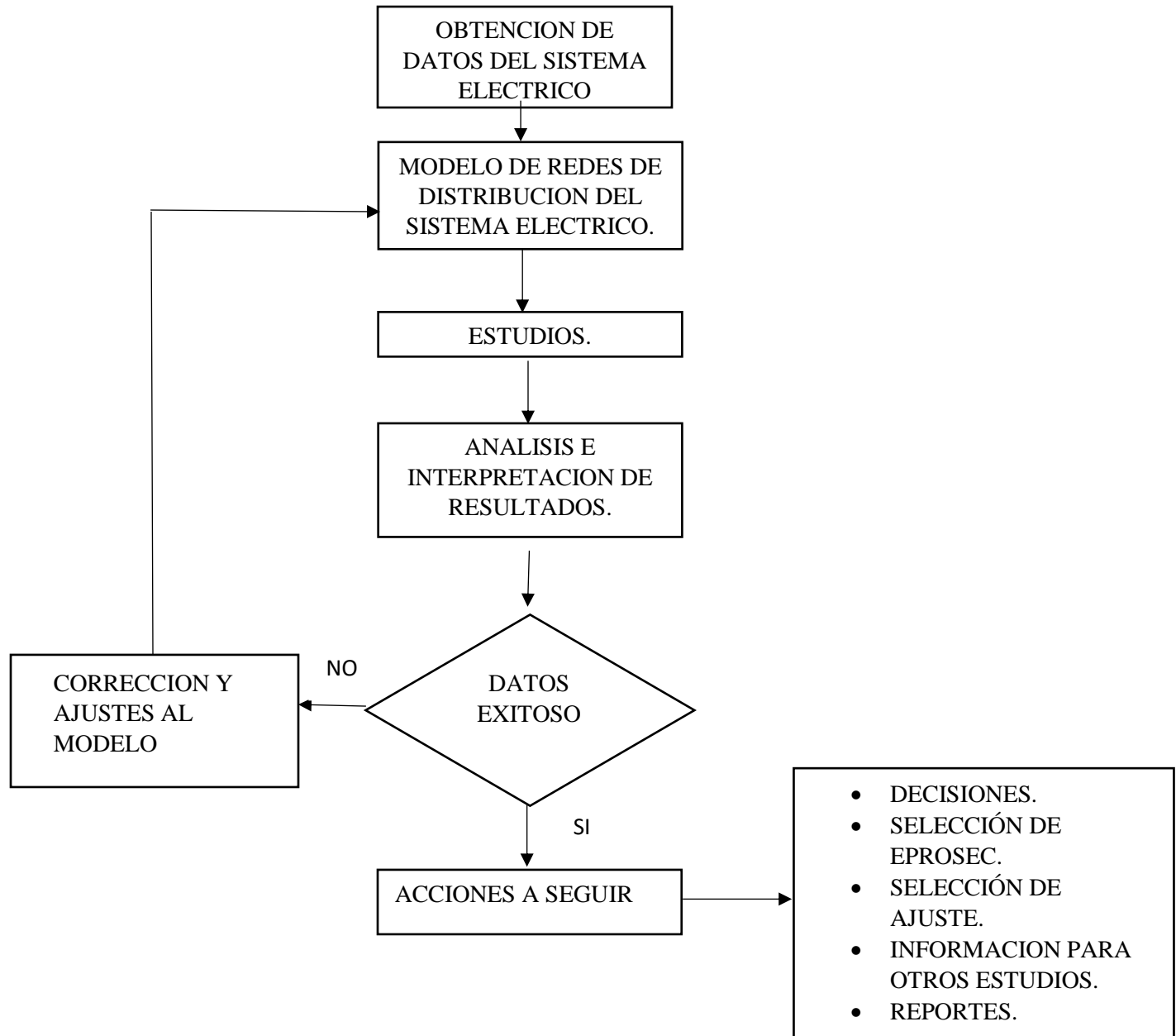


Fig. 1.1 Diagrama a bloques del método analítico para el análisis para determinar la instalación de equipos EPROSEC.

Datos requeridos. - Se citan los elementos necesarios para obtener el modelo del sistema de distribución, revisando los cálculos y estudios requeridos para llevar a cabo la determinación del estudio para la instalación de equipos EPROSEC. Por lo general los estudios que se efectúan a los sistemas eléctricos se ajustan a la secuencia de la figura 1.1 el estudio con esta secuencia debe dar los resultados deseados y aplicables a la red de distribución.

Obtención de datos. - El paso inicial para llevar a efecto cualquier estudio a un sistema eléctrico es recabar los datos característicos de los elementos que lo componen. Para nuestros propósitos, en esta sección se define la terminología de las cantidades que intervienen y se mencionan los datos necesarios para efectuar los cálculos y/o los estudios requeridos en análisis para determinar la instalación de equipos EPROSEC.

Tipos de cantidades. - Para efecto de terminología, en esta sección definiremos dos tipos de cantidades:

Datos. - Son las cantidades básicas a partir de las cuales se calculan o se obtienen resultados. Son los datos de entrada para efectuar algún cálculo o proceso.

Resultados. - Son las cantidades obtenidas a partir de los datos. Son los resultados de cálculos o procesos.

Modelado del sistema de distribución. - Se define la forma de representar cada componente del sistema de distribución, de tal manera que puedan llevarse a cabo los estudios requeridos para el análisis del estudio de instalación de EPROSEC. Se mencionan las expresiones matemáticas que describen el comportamiento de los elementos del sistema, tal que puedan ser cuantificadas sistemáticamente y usadas en el software de la empresa.

2. Fundamento teórico

2.1 Tipos de falla

Una falla se puede definir como cualquier condición anormal del sistema que incluye un defecto en el comportamiento dieléctrico del equipo. Una falla eléctrica por lo general implica dos tipos de situaciones anormales: una falla de aislamiento y una sobre corriente.

Las fallas se pueden clasificar en:

- 1.- Fallas entre fases.
- 2.- Fallas de circuito abierto.
- 3.- Fallas simultáneas.
- 4.- fallas en devanados.

Las fallas entre fases son causadas por fallas de aislamiento entre conductores o entre conductores y tierra, o ambos. En este tipo de fallas se presenta una serie de casos: falla trifásica, falla trifásica a tierra, falla bifásica a tierra, falla monofásica y falla bifásica combinada con falla monofásica.

La falla trifásica, que puede ser a tierra o aislada, es la única que presenta condiciones de simetría en el corto circuito; la presencia o ausencia de contacto a tierra normalmente es de poco o ningún significado. La corriente de falla trifásica por lo regular se emplea como condición normalizada de falla, por ejemplo, en la determinación de niveles de falla del sistema, en los que estos niveles se especifican como valores de corto circuito trifásico.

Las fallas de circuito abierto son las condiciones que se presentan en un circuito cuando una o más fases no conducen energía. Las causas más comunes de este tipo de falla son las fallas de los empalmes en los circuitos aéreos o subterráneos; la falla que se presenta cuando no abren o cierran uno o dos contactos de un interruptor o algún equipo de seccionamiento. Este tipo de falla tiende a producir desbalanceo en las corrientes y tensiones, con el consiguiente daño al equipo rotatorio.

Las fallas simultáneas, también conocidas como fallas múltiples, se definen como la presencia simultánea de dos o más fallas, de igual o diferente tipo y en el mismo o en distinto lugar. Una falla simultánea que por sus características es interesante es una falla de fase a tierra, que se presenta en un punto del sistema de distribución y que coincide con una segunda falla de fase a tierra conectado a tierra a través de una impedancia, en donde la segunda falla a tierra se puede iniciar por el incremento de tensión en las fases sanas como resultado de desplazamiento del potencial del neutro por la primera falla.

Otro tipo de falla simultanea es la que se presenta cuando un conductor de fase de línea aérea se rompe cerca de un poste; entonces, la falla simultanea es circuito abierto-fase a tierra.

Las condiciones de falla descritas se pueden dividir en dos tipos: fallas simétricas y fallas asimétricas. La primera división comprende todas las condiciones que presentan simetría con respecto a las tres fases y la segunda división engloba las fallas que no presentan simetría entre las tres fases. Las fallas entre devanados ocurren en las maquinas rotatorias y en los transformadores. Consisten principalmente en corto circuitos entre devanados y tierra, entre devanados o de un punto a otro en el mismo devanado.

2.2 Factores que influyen en la severidad de la falla

La severidad de una falla en un sistema de distribución se puede medir en términos del disturbio que se produce y de los daños que se causan. La magnitud de la corriente de falla y su duración son de interés especial en relación con el diseño y la aplicación de la protección del sistema de distribución.

Los factores que influyen en la severidad de la falla deben recibir especial atención para asegurar que los valores calculados sean representativos de las condiciones que aparecerán en la práctica. Los factores que normalmente se deben considerar son:

- 1.- Condiciones de la fuente.
- 2.- Configuración del sistema de distribución.
- 3.- Conexión a tierra del neutro.
- 4.- Naturaleza y tipo de la falla.

Las condiciones de la fuente se refieren al valor de la potencia de corto circuito que se tenga en las barras de media tensión a la salida de la subestación de potencia. Este valor varía en función del número de transformadores que operan en paralelo, de las instalaciones para limitar la corriente de falla y de la potencia de corto circuito del sistema de potencia que alimenta a la subestación.

La configuración del sistema de distribución está ligada con el tipo de red que se aplique. Se tienen diferentes valores de corto circuito para distintos tipos de red. Además, los movimientos de carga entre alimentadores de media tensión aumentan o disminuyen la cantidad de reactancia de la fuente al punto de falla haciendo variar la corriente de falla.

La forma en que se realice la conexión a tierra del neutro del sistema influye en los valores de corriente de corto circuito que se tengan en una falla de fase a tierra. los sistemas de distribución pueden ser de neutro aislado o de neutro conectado a tierra. Los sistemas de neutro conectado a tierra se obtienen por medio de una impedancia o directamente sin ninguna forma de impedancia.

Estos sistemas se conocen como sistemas sólidamente conectados a tierra; también pueden ser en forma de aterrizamiento múltiple. En estos sistemas, además del aterrizamiento del neutro en la subestación, hay un aterrizamiento del hilo neutro a lo

largo de todo el alimentador de media tensión. A estos sistemas se les conoce como sistemas multiterrizados.

La naturaleza y el tipo de falla influyen en la magnitud de la corriente de falla. Se tienen distintos valores de corto circuito para una falla de fase a tierra y una trifásica, en el mismo punto de un sistema de distribución. Un factor que requiere especial consideración es la impedancia de una falla, que ocurre cuando no se tiene una falla franca; esta puede ser, por ejemplo, una falla con arco.

El amplio rango de posibilidades y los múltiples factores que influyen dan como resultado una gran variedad de niveles de severidad para un solo sistema. Por lo anterior, resulta valioso referirse a una condición normalizada de corto circuito, normalmente dada por el nivel de corrientes de falla trifásica, el cual se expresa en MVA, correspondientes a la tensión nominal del sistema y al valor simétrico de la corriente de falla trifásica.

El corto circuito trifásico se considera normalmente como la condición más severa desde el punto de vista de la magnitud de la falla, y el máximo valor de falla trifásica es el que determina el valor de capacidad interruptora de los equipos desconectores que se emplean en los sistemas de distribución. Otro factor que no debe perderse de vista lo representan los sistemas sólidamente conectados a tierra, en los que la corriente de corto circuito de fase a tierra puede exceder el valor de la corriente de falla trifásica.

2.3 Corrientes de corto circuito

Los estudios de corto circuito consisten esencialmente en determinar el valor de la corriente de falla en el lugar de la falla; esta corriente puede ser simétrica o asimétrica. Si la envolvente de la senoide de corrientes es simétrica con respecto al eje horizontal (de tiempo) entonces se trata de una corriente simétrica (figura 1).

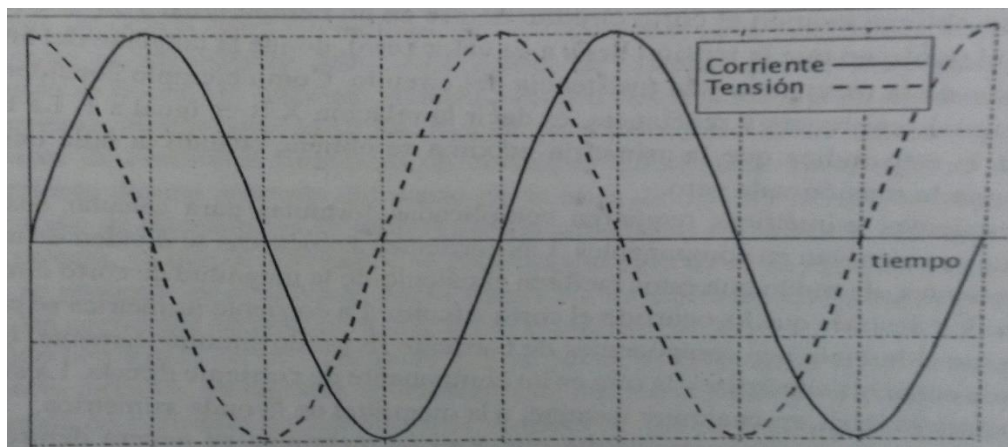


Figura 1. Corriente simétrica de corto circuito.

Si, por el contrario, la envolvente no es simétrica al eje horizontal, entonces se trata de una corriente asimétrica (figura 2). El factor de potencia de la corriente de corto circuito lo determina la relación de la resistencia y de la reactancia del circuito sin considerar la carga.

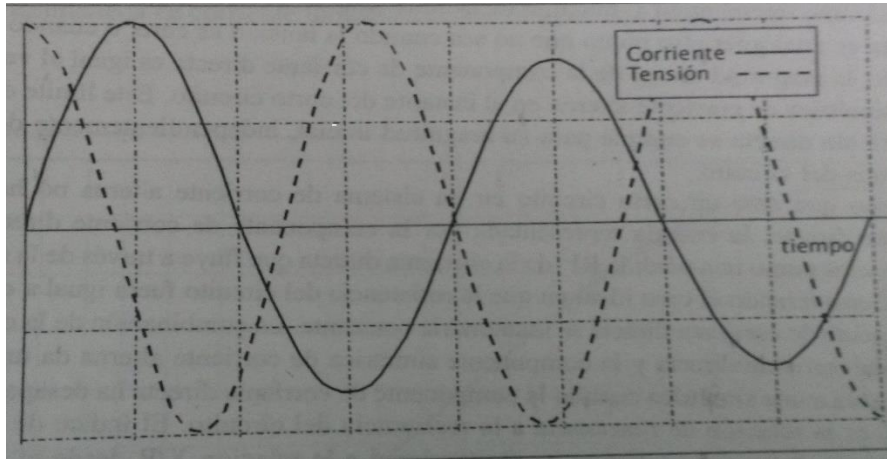


Figura 2. Corriente asimétrica de corto circuito.

Si en un circuito que tiene reactancia principalmente se presenta una falla en el momento en que la onda de tensión llega a su valor máximo, la corriente de corto circuito empezará en cero y seguirá la forma de una senoide simétrica con respecto al eje horizontal.

A esta corriente se le conoce como corriente de corto circuito simétrica. Si en el mismo circuito se presentan un corto circuito en un momento en que la onda de tensión no sea máxima, la corriente de corto circuito mostrará asimetría con respecto al eje horizontal. El valor de la asimetría depende del valor de la tensión en el momento en que se produzca la falla; éste puede variar de cero a un valor máximo, según la tensión sea máxima o cero.

En circuitos que contienen reactancia y resistencia la asimetría de la corriente de corto circuito puede variar entre los mismos límites que para los circuitos que solamente contienen reactancia o solamente resistencia. El valor de la tensión en que la corriente de falla presenta la mayor asimetría depende de la relación de la reactancia y la resistencia del circuito.

La máxima asimetría se obtiene cuando el corto circuito ocurre en un tiempo igual a $90^\circ + \theta$ (medio en grados desde el punto en el que la tensión llega a su valor cero), donde la tangente del ángulo θ es igual a la relación de la reactancia y la resistencia del circuito. Como ejemplo considérese un circuito que tiene igual resistencia y reactancia, es decir la relación X/R es igual a 1. La tangente 45° es igual a 1; esto indica que la asimetría máxima se obtiene cuando la falla ocurre a 135° del punto en que la tensión vale cero.

Las corrientes asimétricas requieren complicadas fórmulas para calcular sus magnitudes, a menos que se resuelvan en componentes. Las corrientes asimétricas se dividen de manera arbitraria en componentes, de modo que estos faciliten el cálculo de la magnitud de corto circuito en tiempos determinados después que ha ocurrido el corto circuito. La corriente asimétrica se comporta exactamente como si hubiera dos componentes de corriente fluyendo simultáneamente.

Una es una componente de corriente simétrica y la otra es un componente de corriente directa. La suma de estas dos componentes es igual, en cualquier instante, a la magnitud de la onda asimétrica. La componente de corriente directa que aquí se menciona se genera dentro del sistema de corriente alterna sin ninguna fuente de corriente directa. Esta componente de corriente directa tiende a decaer rápidamente en circuitos reales.

La magnitud de la componente de corriente directa depende del instante en que ocurre el corto circuito y puede variar desde cero hasta un valor máximo inicial igual al máximo de la onda simétrica de corriente alterna. Cuando la falla se presenta en cualquier otro punto que no sea cuando la tensión es cero, o cuando alcanza su valor máximo, la magnitud inicial de la componente de corriente directa es igual al valor de la componente simétrica de corriente alterna en el instante del corto circuito.

Este límite de la componente de corriente directa se cumple para su magnitud inicial, independientemente de la resistencia y reactancia del circuito. Puesto que ante un corto circuito en un sistema de corriente alterna no hay una fuente de corriente directa, la energía representada por la componente de corriente directa se disipará en pocos ciclos como una pérdida RI^2 de la corriente directa que fluye a través de la resistencia del circuito.

Considerando el caso ideal en que la resistencia del circuito fuera igual a cero, el valor de la componente de corriente directa se mantendría constante. La combinación de la componente decreciente de corriente directa y la componente simétrica de corriente alterna de una onda asimétrica que cambia a una simétrica cuando la componente de corriente directa ha desaparecido. X/R es la relación de reactancia a la resistencia del circuito.

El índice de disminución de la componente de corriente directa es proporcional a la relación X/R desde el generador hasta el punto de falla. Si la relación X/R es infinita (resistencia igual a cero), la componente de corriente directa nunca decrece. Por el contrario, si la relación X/R es cero (reactancia igual a cero), la componente de corriente directa decrece instantáneamente.

Para cualquier relación de X/R que este entre estos dos valores límite (resistencia y reactancia igual a cero) la componente de corriente directa tarda un tiempo definido para disminuir hasta llegar a su valor cero. En generadores la relación de la reactancia subtransitoria y la resistencia puede llegar a valores tan altos como 70; en tales casos pasaran varios ciclos antes de que desaparezca la componente de corriente directa.

En circuitos alejados de las plantas generadoras la relación X/R es pequeña y la componente de corriente directa decrece rápidamente. A medida que aumenta la resistencia, las pérdidas RI^2 de la componente de corriente directa se disipa con más rapidez. El cálculo preciso de una corriente asimétrica en un momento dado puede requerir un cálculo muy laborioso.

Se deben saber los factores de decrecimiento para cuantificar la componente de corriente directa en un instante dado. Esta forma de cálculo, que es muy precisa, se puede emplear cuando se desee; sin embargo, existen métodos simplificados para determinar la componente de corriente directa aplicando factores de multiplicación. Estos factores convierten los valores eficaces de corrientes simétricas en corrientes asimétricas.

La magnitud de la componente de corriente directa depende del punto de la onda de tensión en que se presente la falla. Para la aplicación de dispositivos de protección únicamente se considera la máxima componente de corriente directa, ya que el interruptor se debe aplicar para llevar la máxima corriente de corto circuito que se presente en el sistema. En la (figura 3) se muestran los factores para calcular la asimetría de las corrientes de falla para diferentes relaciones de X/R.

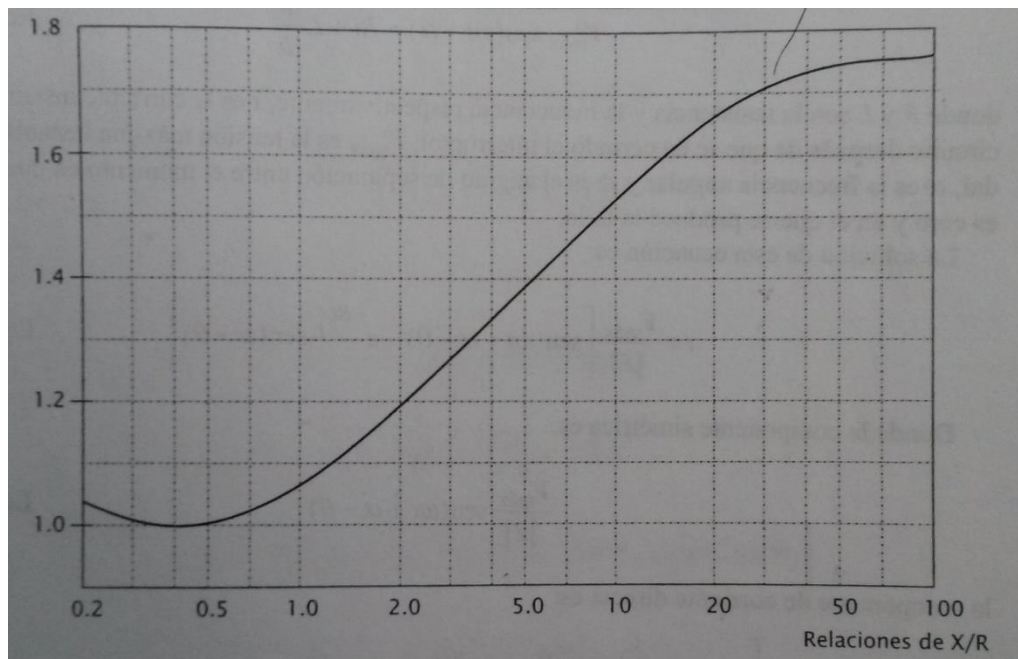


Figura 3. Factores de asimetría para distintas relaciones X/R.

Aun cuando con ayuda de las relaciones X/R se puede determinar el valor de la corriente asimétrica de corto circuito, en algunas aplicaciones es necesario conocer el comportamiento de la forma de la onda de corriente inmediatamente después de que se produzca la falla. Las ecuaciones fundamentales para el análisis de corto circuito del 1 son aplicables únicamente para condiciones de estado permanente.

En ellas se calculan valores eficaces de corriente de falla en que los efectos transitorios han desaparecido (la componente de corriente directa se ha convertido en cero) y las corrientes se han estabilizado. De hecho, estas ecuaciones no dicen cuáles son los valores instantáneos de corriente inmediatamente después de la falla.

La variación de la corriente en el tiempo se puede analizar y entender fácilmente con ayuda del circuito de la (figura 4). La línea punteada sirve solo para representar la carga conectada normalmente al circuito. Cuando se cierra el interruptor se produce la falla y la carga se puntea, independizándose entonces la magnitud de la corriente de corto circuito de la magnitud de la carga conectada al circuito.

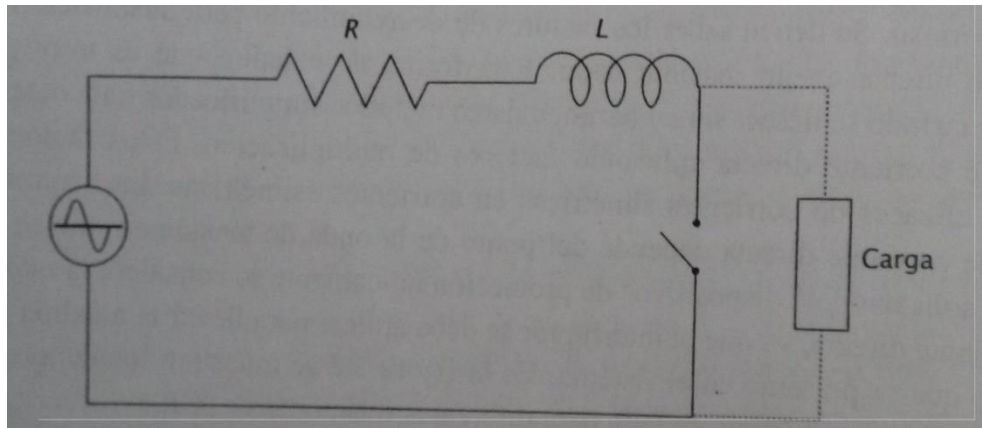


Figura 4. Circuito R-L para análisis de corto circuito.

El estudio del comportamiento de la corriente de falla en el tiempo (durante los primeros ciclos) incluye la solución de la siguiente ecuación diferencial derivada del circuito mencionado:

$$V_{\text{máx}} \text{sen}(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt}$$

Ecuación 1

donde R y L son la resistencia y la inductancia respectivamente, i es la corriente instantánea en el circuito después de que se ha cerrado el interruptor, $V_{\text{máx}}$ es la tensión máxima instantánea senoidal, ω es la frecuencia angular y α es el ángulo de separación entre el momento en que la tensión es cero y en el que se produce la falla.

La solución de esta ecuación es:

$$i = \frac{V_{\text{máx}}}{|Z|} [\text{sen}(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-Rt/L} \text{sen}(\alpha - \theta)]$$

Ecuación 2

Donde la componente simétrica es:

$$\frac{Vmáx}{|Z|} \text{sen}(\omega t + \alpha - \theta)$$

Ecuación 3

la componente de corriente directa es:

$$\frac{Vmáx}{|Z|} e^{-Rt/L} \text{sen}(\alpha - \theta)$$

Ecuación 4

el ángulo de la impedancia

$$\theta = \text{Arc tan } X/R$$

Ecuación 5

y la reactancia

$$X = \omega L$$

Ecuación 6

El primer término de la solución de la ecuación es la parte de estado permanente y el segundo término es la parte transitoria, que decrece exponencialmente; es decir estos términos son las dos componentes: una corriente alterna y otra de corriente directa.

2.4 Protección con relevadores

Los relevadores son dispositivos, instalados en el sistema, que al detectar condiciones anormales completan un circuito que ordena disparar a su interruptor asociado, y así se aísla al elemento fallado. Estos realizan el trabajo de un vigilante incansable, ya que constantemente miden alguna magnitud eléctrica del circuito protegido y ordena su desconexión cuando se presenta una falla.

Su función principal, así como la de los interruptores, es prevenir o limitar el daño durante fallas o sobrecargas y minimizar su efecto en el resto del sistema.

Los reveladores operan generalmente con señas de tensión y de corriente derivadas de transformadores de potencial y de corriente. Un banco de baterías proporciona la corriente de disparo del interruptor asociado.

Una operación exitosa depende de: las condiciones del banco de baterías, de la continuidad del alambrado, del estado de la bobina de disparo, de la correcta operación mecánica y eléctrica del interruptor y del cierre de los contactos del relevador. En la (figura 5) se muestra el diagrama unifilar de un alimentador de distribución protegido con un relevador de sobrecorrientes.

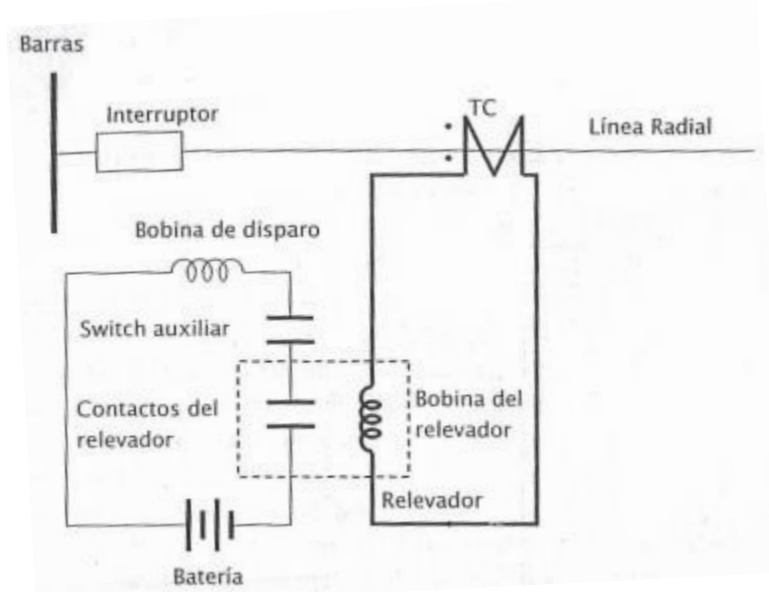


Figura 5. Protección con relevador de una línea radial de distribución.

Los relevadores de sobrecorrientes utilizados en la industria eléctrica son principalmente del tipo de atracción e inducción electromagnética. El relevador más comúnmente empleado es el que se basa en el principio del disco de inducción. El mismo principio es usado en los wathhorímetros de corriente alterna y cuando se aplica a la construcción de relevadores proporciona muchas variedades de características tiempo-corriente.

Los componentes principales de un relevador de sobrecorrientes del tipo de inducción se muestra en la (figura 6). El disco se monta en una flecha rotatoria tensada por un resorte y el contacto móvil está sujeto a la flecha. El par de operación en el disco se produce cuando por el electroimán circula una corriente, igual o mayor a la corriente mínima actuante, cuyo flujo induce otra corriente en el disco.

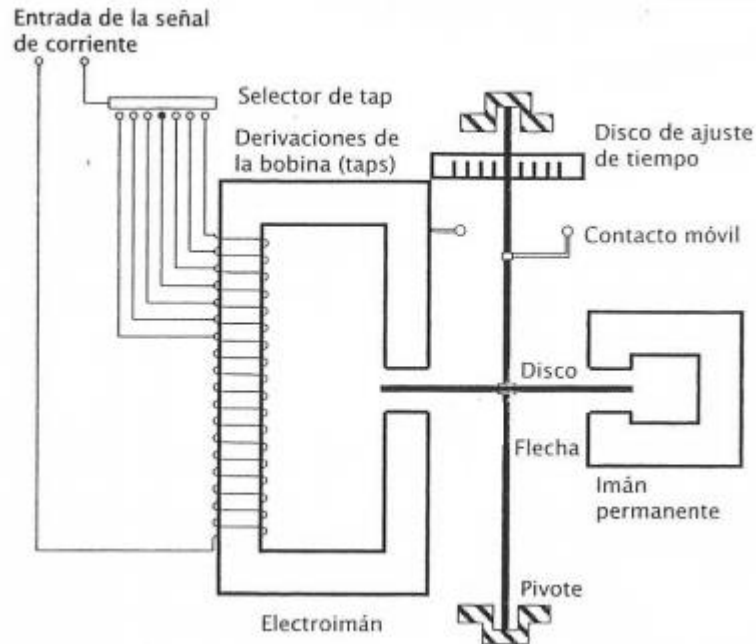


Figura 6. Relevador de inducción magnética.

La interacción de las corrientes y los flujos crea un par que hace girar al disco y este al girar cierra o abre los contactos del relevador. La flecha del relevador que generalmente tiene acoplados los contactos móviles trabaja contra el resorte restrictor que lo regresa a su posición normal cuando el relevador se desenergiza. El disco gira una pequeña fracción de una vuelta cuando se ajusta para que se opere en un tiempo mínimo; o casi una vuelta entera cuando se ajusta para operar en el mayor tiempo.

Es decir que las variaciones en el tiempo se logran ajustando el disco de calibración de tiempo. A cada calibración le corresponde una curva dada de una familia de curvas suministrada por el fabricante para un tipo particular de relevador. En la (figura 7) se muestra una familia de curvas de un relevador de característica inversa.

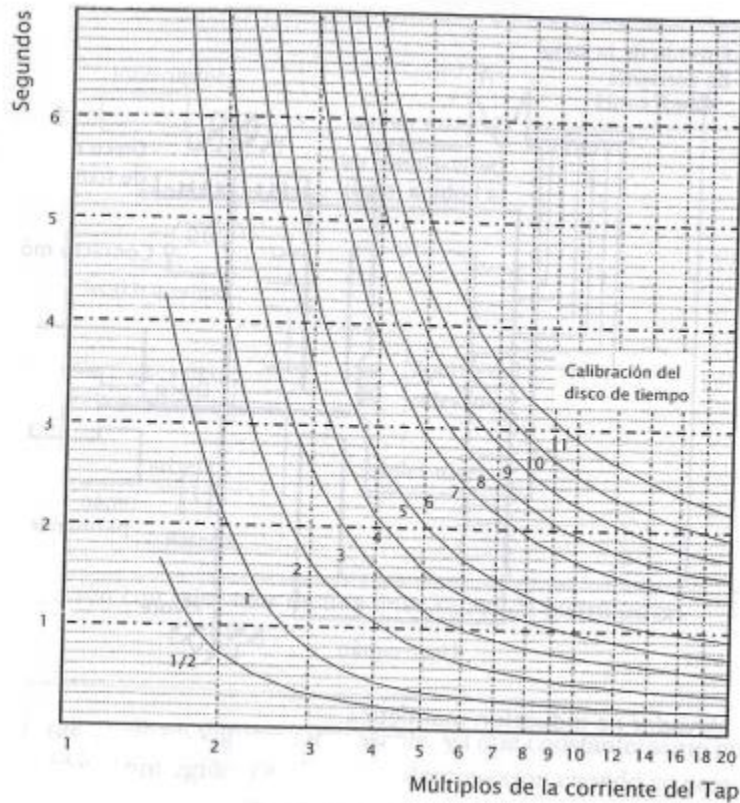


Figura 7. Curvas típicas de un relevador de sobrecorriente.

La mayoría de los relevadores de tipo inducción tienen 10 u 11 posiciones en el disco de ajuste de tiempo; esta numeración únicamente sirve para diferenciar una curva de otra. Los contactos del relevador se cierran para una calibración igual a cero, y su separación aumenta a medida que se incrementa el ajuste en el disco de calibración de tiempo.

Todos los relevadores tienen contactos de plata capaces de cerrar los circuitos de disparo de los interruptores, con corrientes de hasta 30 amperes, sin dañarse. Sin embargo, no pueden abrir sin resultar dañados por el arco resultante. Consecuentemente son protegidos por una unidad de sello, y un switch auxiliar en el mecanismo del interruptor se conecta en el circuito para abrir cuando abre el interruptor (figura 5).

La unidad de sello también sirve para el caso en que los relevadores de inducción tienen que operar con corrientes de corto circuito bastante pequeñas. Cuando así sucede, hay un par relativamente débil para mantener los contactos fuertemente cerrados mientras que el switch auxiliar del interruptor abre el circuito de disparo. Para prevenir daño en los contactos del relevador por el arco, por la débil presión de los contactos y para asegurar un disparo efectivo.

El circuito de sello puente los contactos del relevador y los mantiene cerrados magnéticamente hasta que el circuito de disparo se interrumpe por el switch auxiliar

en el interruptor que operó. La práctica usual es que el circuito de sello, o bobina de retención, actúe la bandera indicadora de operación del relevador. El relevador se restablece por medio de un botón localizado en el exterior de la caja del relevador.

Los relevadores de sobrecorriente generalmente se encuentran disponibles en los siguientes valores de corriente nominal:

Rango	Taps
0.5 – 2.5(ó 0.5 – 2.0)	0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 y 2.5
1.5 – 6.0(ó 2.0 – 6.0)	1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 5.0 y 6.0
4.0 – 16.0(ó 4.0 – 12.0)	4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 10.0, 12.0 y 16.0

Los relevadores de corriente residual (para detectar fallas a tierra) se conectan en el neutro de la estrella de los secundarios de tres transformadores de corriente, los que detectaran únicamente la corriente residual de desbalance que fluye durante las fallas a tierra. la selección del tap usando varía desde 0.5 A hasta 2 ó 3 amperes. En la (figura 8) se muestra un arreglo de protección con relevadores, de una línea radial de distribución.

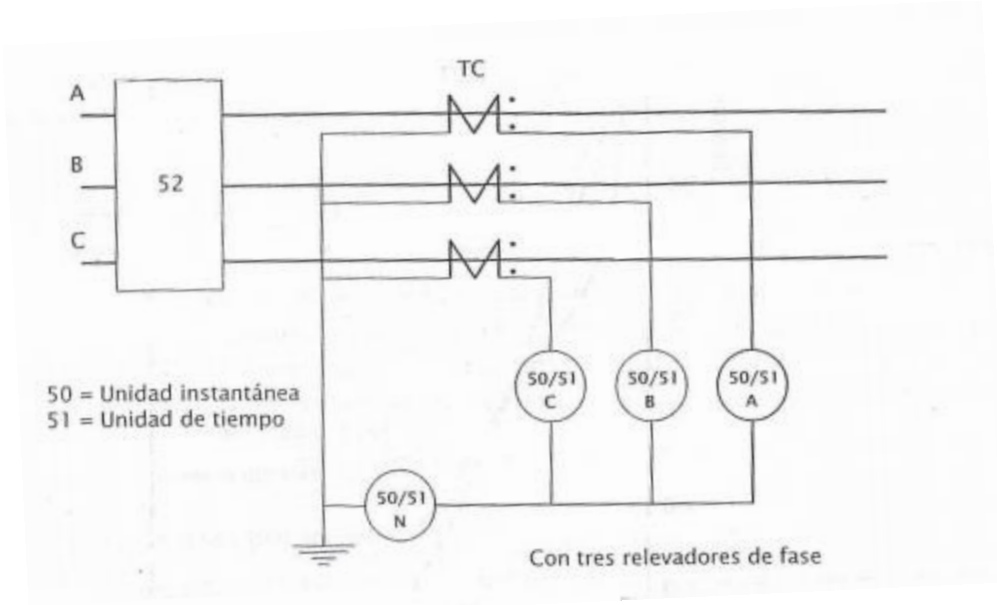


Figura 8. Protección de una línea radial de distribución.

Además de la unidad de tiempo los relevadores de sobrecorriente tienen, generalmente, la unidad instantánea. La mayoría de los relevadores de característica instantánea son del tipo de embolo de atracción electromagnética. Pueden suministrarse como un elemento instantáneo colocado en la misma caja que aloja al relevador de tiempo, o separado en otra caja. Aunque se le denomina instantáneo se requiere una magnitud de tiempo bien definida para operar ante diferentes corrientes.

Las bobinas de corriente de estas unidades varían en un rango de 1.5 a 80 amperes, y aún más si es necesario, y se ajusta a través de un tornillo que introduce o saca el embolo dando así mayor o menor restricción. Los relevadores del tipo de inducción electromagnética, como se mencionó anteriormente, tienen una característica de tiempo inverso. Esto significa que el relevador opera lentamente con pequeñas magnitudes de sobrecorriente.

Pero, a medida que la sobrecorriente se incrementa, disminuye el tiempo de operación. Hay un límite a la velocidad a la que el disco puede viajar; si la corriente continúa incrementándose, la curva de tiempo del relevador tendera a alcanzar un valor constante. Existen diferentes modelos de relevadores con diferentes grados de “característica inversa”, clasificándose en: inversos, muy inversos y extremadamente inversos.

En la (figura 9) se muestran las curvas características de estos tres tipos de relevadores.

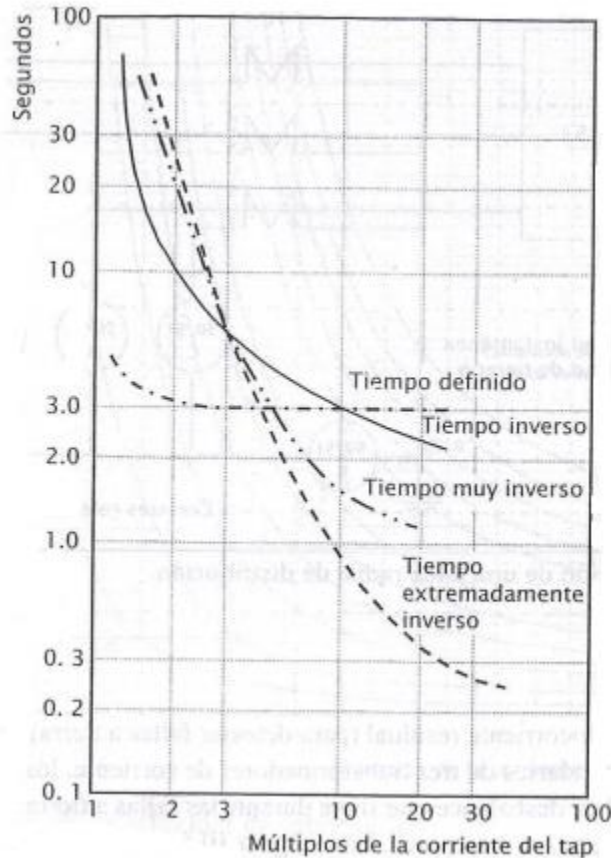


Figura 9. Curvas de relevadores de sobrecorriente de diferente característica inversa.

2.4.1 Calibración de los relevadores

La protección de un alimentador radial de distribución comprende la selección de:

1. La relación de los transformadores de corriente.
2. El tap, o derivación, de la bobina.
3. El ajuste del disco de tiempo.
4. La calibración del elemento instantáneo.
5. La corriente mínima de disparo de los relevadores de tierra.

2.4.2 Corriente mínima de disparo de los relevadores de tierra

Un relevador de tierra se instala, en adición a los tres relevadores de fase, para detectar corrientes de desbalance siendo las más representativas las de falla a tierra. El relevador de tierra, generalmente, es similar a los de fase y utiliza los mismos transformadores de corriente. Al igual de los de fase, puede tener la unidad de tiempo (51) y la unidad instantánea (50) contenida en la misma caja.

La corriente mínima de disparo de la unidad de tiempo del relevador de tierra, generalmente, es del 30 al 50% de la corriente de demanda máxima.

2.5 Protección con fusibles

Es un dispositivo de seguridad para prevenir el paso anormal de un flujo de corriente en cualquier ramal del circuito. Este dispositivo consiste de una pieza de conductor muy pequeño instalado en los conductores principales de una casa. Este pequeño conductor tiene el grado de conductividad que solo permite el paso de la corriente normal. Si por alguna razón hay una corriente anormal por el ramal protegido, el pequeño alambre se calienta y funde interrumpiendo el circuito sobrecargado.

El instituto nacional de normas americanas (ANSI) en su norma C37.100 define al fusible como: “Un dispositivo de protección contra sobrecorrientes con una parte que se funde, la cual se calienta y se puede destruir al paso de la corriente”. Similarmente la Comisión Electrotécnica Internacional, en su norma numero 291 define al fusible como: “Un dispositivo de apertura que al fundir uno o más de sus componentes, abre el circuito en el que se ha insertado e interrumpe la corriente cuando esta excede un valor dado durante cierto tiempo.

Los fusibles se deben diseñar para transportar continuamente la corriente nominal, así como para soportar sobrecargas que se repiten durante cortos periodos de tiempo sin producir daño al equipo protegido. Algunos de los factores de diseño incluyen: la resistencia mecánica del elemento fusible, los límites de temperatura y las características tiempo-corriente.

La resistencia mecánica es importante debido a que el elemento fusible está bajo tensión mecánica en el portafusible y un material de alta resistencia mecánica tiene una alta temperatura de fusión, la que puede dañar al portafusible. Sin embargo, para

lograr la temperatura de fusión deseada se necesita un metal de baja resistencia mecánica, presentándose una incongruencia.

Ya que por razones de esfuerzo mecánico se requiere un material con una alta resistencia al esfuerzo y por razones de fusión eléctrica exactamente lo contrario. Por tal motivo, para los fusibles de pequeña corriente nominal, que no tienen resistencia mecánica suficiente para soportar la tensión, se les instala un alambre donde se soporta al elemento fusible; cuando el fusible opera el arco resultante destruye al alambre y al elemento fusible.

Los fusibles se fabrican con elementos de baja temperatura de fusión, como el estaño; o de alta temperatura de fusión, como la plata o el cobre; el estaño funde a 232 °C, la plata a 960°C y el cobre a 1080 °C. Los fusibles compuestos son aquellos que se fabrican con dos elementos en serie, en estos, generalmente, en el extremo del elemento (cobre estañado) se le sujeta una bobina de soldadura.

Durante una sobrecarga la soldadura se funde a un valor predeterminado de tiempo, causando una separación de los elementos; durante un corto circuito el elemento de mayor temperatura de fusión, funde primero. En resumen el fusible dual o compuesto está diseñado para permitir sobrecargas y operar con corrientes de corto circuito.

La (figura 10) muestra las partes constitutivas de fusibles típicos de media y baja tensión. En el caso del de baja tensión el elemento fusible está contenido en una capsula llena de arena de cuarzo; la capsula o cuerpo del fusible, generalmente, es de cerámica, pero algunas veces es de fibra vidrio reforzada con resina; en cada extremo del tubo se encuentran las tapas de latón que sirven para hacer el contacto eléctrico con el portafusible.

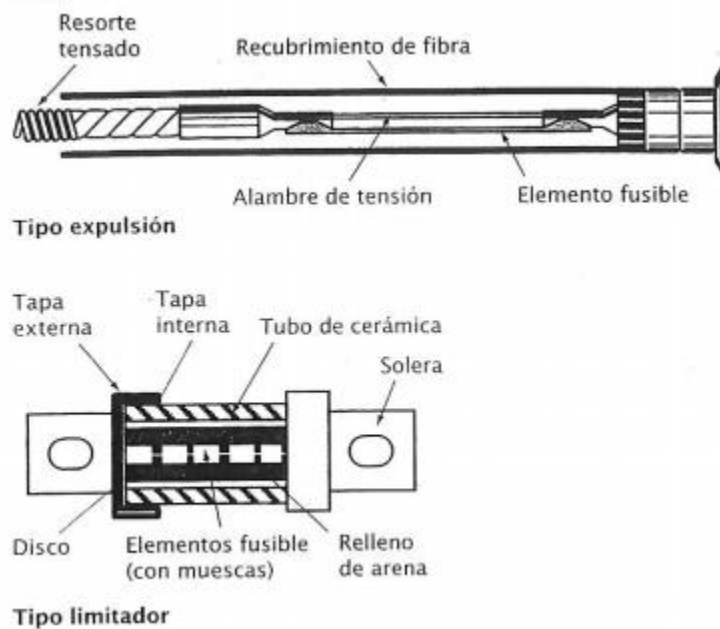


Figura 10. Fusibles de baja y media tensión.

Después de la incidencia de una falla circular una sobrecorriente que funde al elemento fusible, distinguiéndose dos regiones distintas de tiempo: el tiempo de prearqueo (también conocido como tiempo de fusión) y el tiempo de arqueo. Durante el tiempo de prearqueo la temperatura del fusible se incrementa hasta que en algún punto del elemento se alcanza el punto de fusión, en ese momento se rompe el elemento y se establece un arco entre las partes fundidas del elemento roto.

Este proceso es acompañado por un incremento significativo en la tensión medida entre los extremos del fusible, y que se debe a la repentina aparición del arco. Durante el tiempo de arqueo, el arco continuo hasta que finalmente se logra la interrupción de la corriente y el arco se extingue.

La (figura 11) muestra oscilogramas para condiciones de corto circuito, en un circuito de prueba de corriente alterna. Se puede apreciar que el fusible limita la magnitud de la “corriente esperada” de falla. Esta acción limitadora da el nombre a los fusibles conocidos como: limitadores de corriente, y es importante ya que los efectos de calentamiento y los electromecánicos se reducen drásticamente.

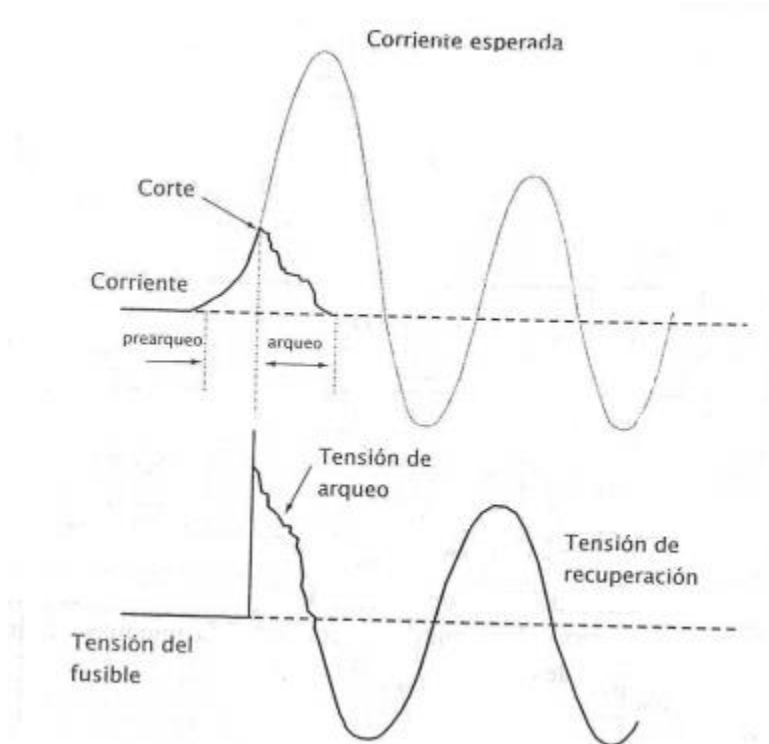


Figura 11. Operación de un fusible limitador ante una corriente de corto circuito.

Para estas condiciones el tiempo de arqueo es del mismo orden de magnitud del tiempo de prearqueo. La (figura 12) muestra oscilogramas para un circuito de corriente alterna; pero en este caso la “corriente esperada” corresponde a una condición de sobrecarga. En este caso las “corrientes esperadas” son relativamente

pequeñas produciendo pequeños calentamiento y tiempos de prearqueo relativamente largos, quizás de algunas horas.

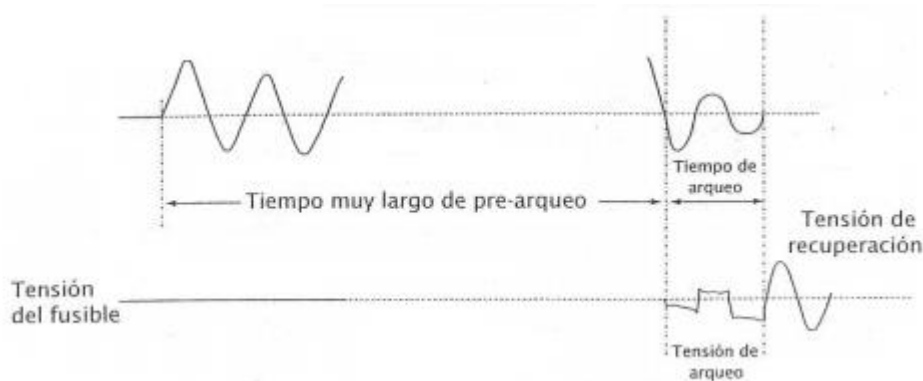


Figura 12. Operación de un fusible ante una corriente de sobrecarga.

El tiempo de arqueo es despreciable en comparación con el tiempo de prearqueo, en la (figura 12) se observa que se requieren varios ciclos de corriente alterna antes que la interrupción se complete. De esto se deduce que la extinción del arco es más difícil cuando la corriente es baja que cuando es alta.

2.5.1 Curvas características de fusibles

Las curvas características de fusibles proporcionan una gran cantidad de información al Ingeniero de Distribución; estas curvas le permiten seleccionar el fusible más adecuado para una aplicación dada. Existen tres tipos de curvas:

1. Tiempo-corriente
2. Instantáneas de corriente pico
3. I^2t

El primer tipo de curvas se aplica para toda clase de fusibles y las dos últimas se aplican únicamente para fusibles limitadores de corriente. La industria encargada de la fabricación de los fusibles y el Instituto Americano de Normas Nacionales (American National Standards Institute) han desarrollado un formato básico para representar la información de los puntos de fusión de los diferentes elementos fusibles.

Este formato consiste de una hoja de papel logarítmico; la escala logarítmica permite mostrar gráficamente las características del fusible, para un rango muy amplio de tiempo y corriente, en una hoja de papel relativamente pequeña. La (figura 13) es un ejemplo típico de una curva tiempo-corriente de un fusible de un fabricante. La escala de tiempo consiste de cinco secciones principales: 0.01 a 0.1, 0.1 a 1.0, 1.0 a 10, 10 a 100 y 100 a 1000.

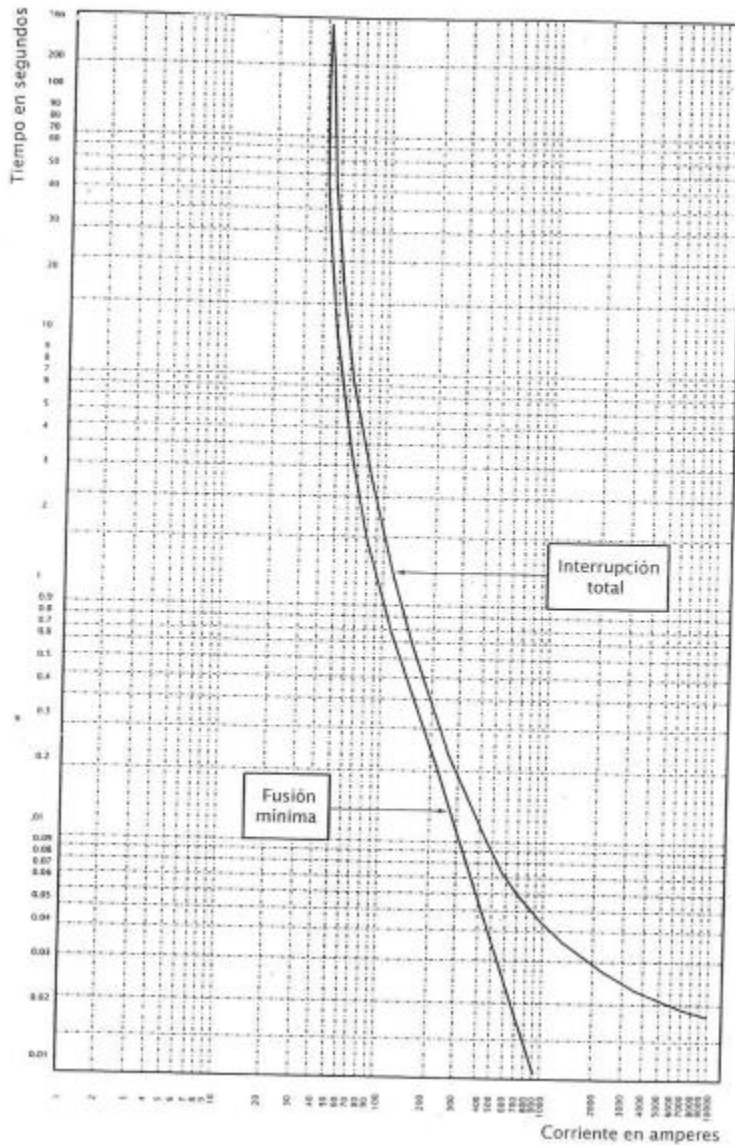


Figura 13. Curvas características de un fusible 20 k (fusión mínima e interrupción total).

Las cinco secciones tienen idénticas subdivisiones y son de la misma longitud. La escala de corriente (en amperes) consiste de cuatro subdivisiones principales: de 1 a 10, 10 a 100, 100 a 1000 y de 1000 a 10000 amperes.

Respecto de las curvas tiempo-corriente es conveniente hacer notar algunas peculiaridades que son:

1. Los amperes en la escala de corriente son amperes simétricos.
2. La escala del tiempo no empieza en cero segundos; sino que empieza en 0.01 segundos, este valor es un poco menor de un ciclo (0.0166 segundos); esto se debe a que los fusibles de expulsión no operan en un tiempo menor de un ciclo. Para los fusibles que operan en un rango menor de un ciclo las curvas de corriente pico y las curvas i^2t proporcionan la información necesaria para una aplicación adecuada.

3. La escala del tiempo termina en 300 segundos; para las normas del Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI) las curvas terminan en 600 segundos, aun cuando algunos fabricantes las terminan en 1000 segundos.

Todas las curvas tiempo-corriente se grafican bajo las siguientes bases:

1. Los fusibles no han sido sujetos a precarga, es decir los fusibles no han conducido ninguna corriente.
2. La temperatura ambiente a la que se hace la prueba es de 25°C.
3. La instalación del fusible es un montaje cubierto, no en un gabinete.

El proceso de interrupción de la corriente en un fusible se lleva a cabo en dos partes:

1. La sobrecorriente que pasa por el elemento lo calienta y lo cambia al estado líquido (prearqueo); al tiempo que tarda esto se le conoce como tiempo de fusión o de prearqueo, y es función de la magnitud de la corriente.
2. En el instante en que el elemento pasa al estado líquido, este empieza a abrirse en algún punto y un arco se establece a través de los extremos del elemento en el punto donde este se interrumpió. Las otras partes se siguen fundiendo y el arco se alarga hasta que finalmente el arco no se puede mantener y se extingue, interrumpiéndose el circuito. El tiempo de arqueo se mide en ciclos y varía de 0.5 a 2 ciclos.

La curva total del tiempo de interrupción está compuesta del tiempo de fusión (prearqueo) y del tiempo de arqueo (figura 11). Existe una parte de la curva característica tiempo-corriente en la que el tiempo de fusión se confunde con el tiempo total de interrupción; esto se debe a que el tiempo de fusión es muy grande en comparación con el tiempo de arqueo.

Se acostumbra que el fabricante proporcione proporcione dos juegos de curvas características tiempo-corriente para cada clase de fusible; una es la familia de curvas de tiempo mínimo de fusión, y la otra es la familia de curvas de tiempo total de interrupción; (figura 14) y (figura 15).

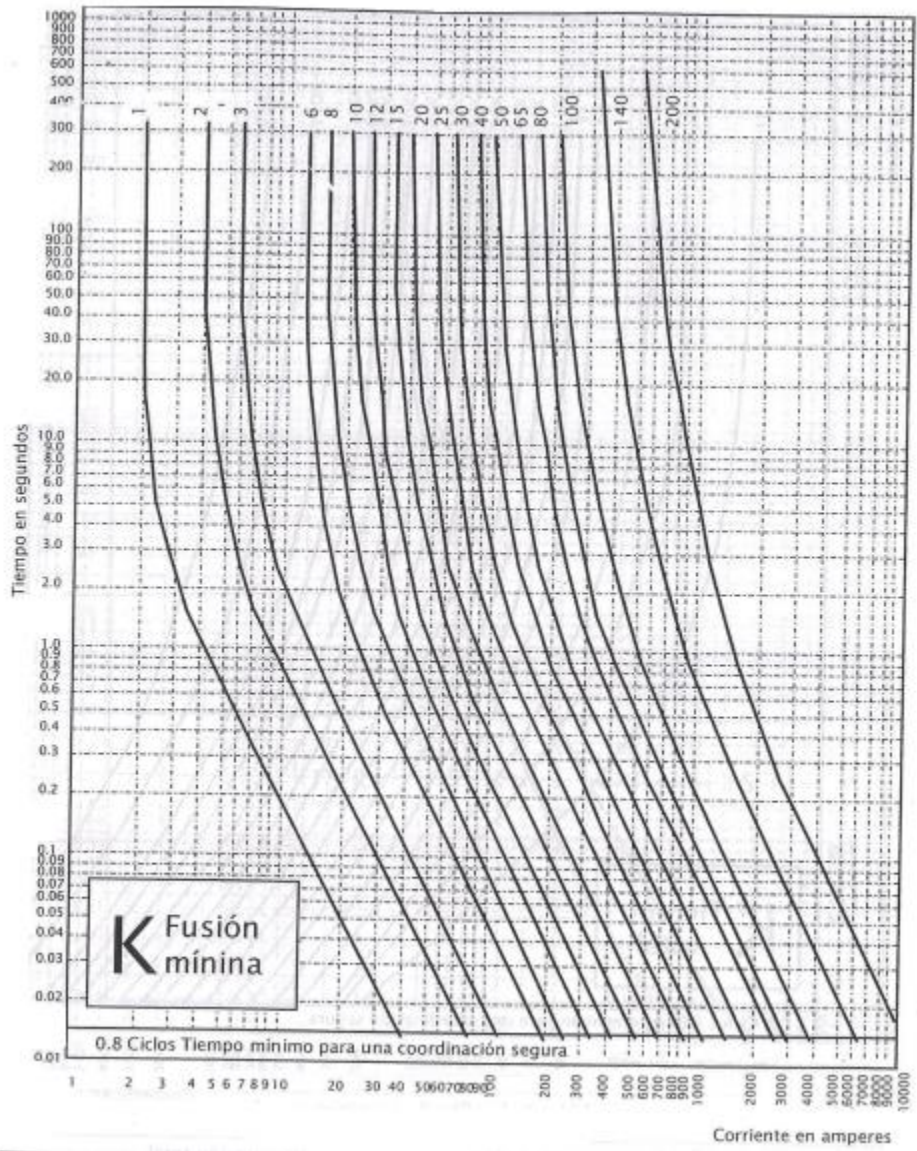


Figura 14. Familia de curvas características de tiempo de fusión.

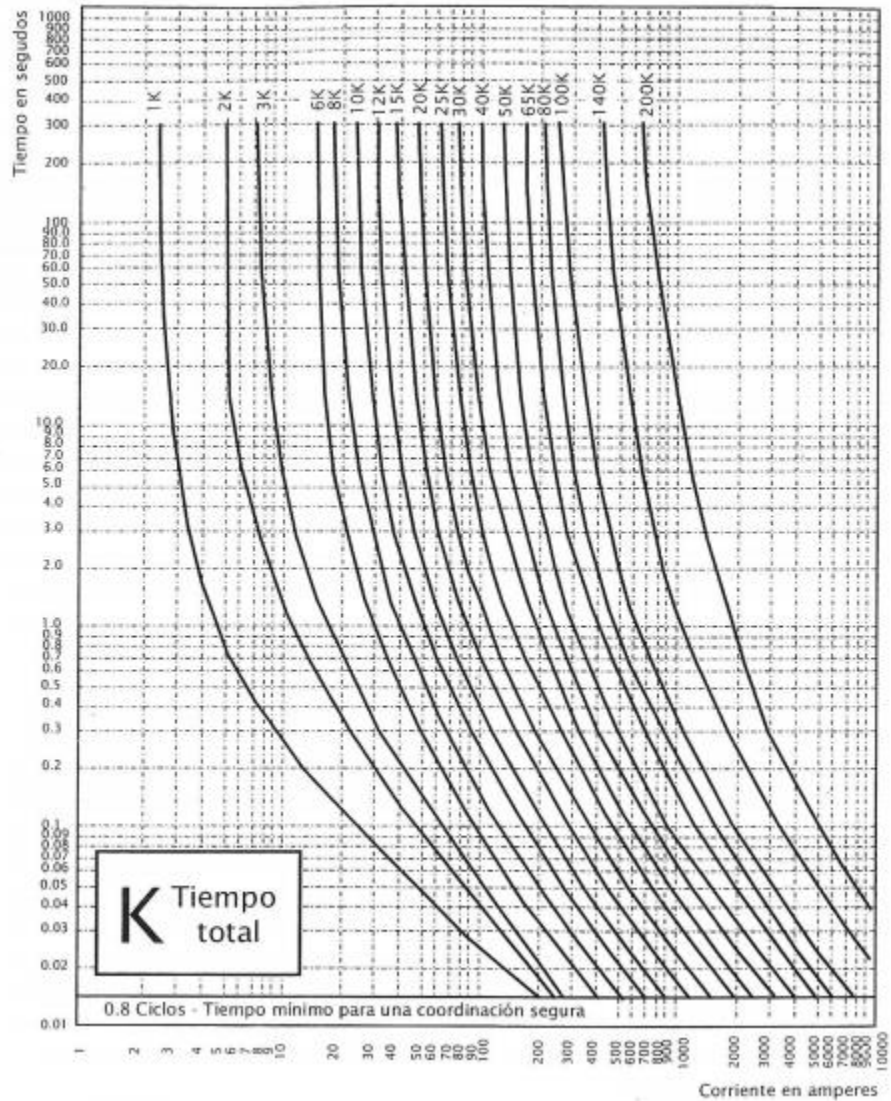


Figura 15. Familia de curvas características de tiempo de interrupción total.

Las normas del Instituto Edison de Electricidad (EEI) y de la Asociación Nacional de Fabricantes de Productos [Eléctricos de los Estados Unidos (NEMA) dividen los fusibles, para circuitos primarios, en dos tipos: rápidos y lentos; designados con las letras K y T respectivamente.

Los fusibles K y T, de la misma corriente nominal, tienen el mismo valor de corriente para un tiempo t igual a 300 y 600 segundos, pero en tiempos menores representan diferencias, siendo más lentos en su respuesta a los fusibles tipo T. En la (figura 16) se muestran las curvas tiempo-corriente de fusión mínima para dos fusibles 15T y 15K. Esta diferencia en su velocidad de respuesta permite coordinarlos con otros dispositivos de protección que exhiban diferentes características tiempo-corriente.

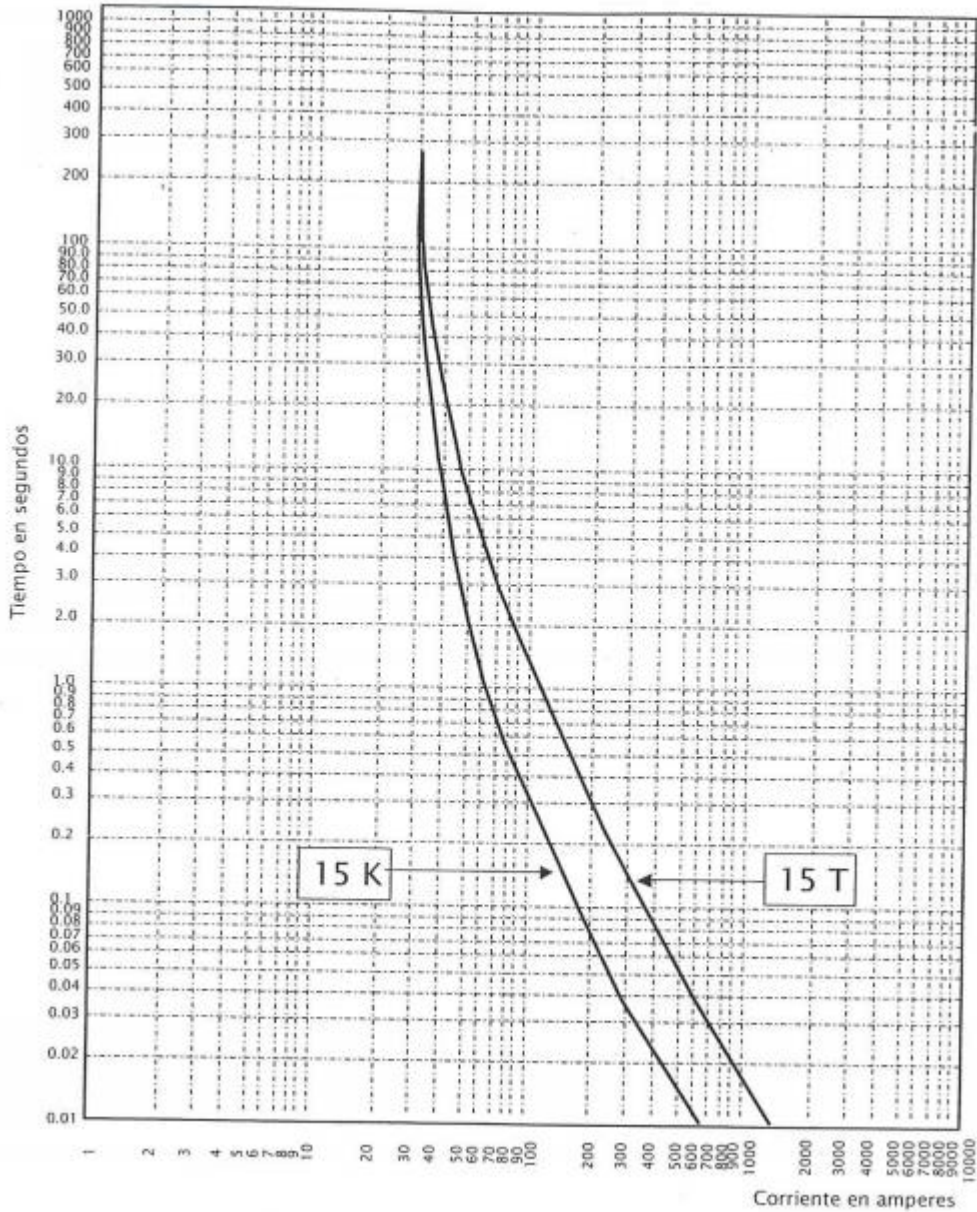


Figura 16. Curvas de fusión mínima de fusibles 15 K y 15 T.

Como se mencionó anteriormente cuando los fusibles operan en un rango comprendido entre cero y un ciclo, en las curvas características tiempo-corriente, este rango está representado en una parte muy pequeña de la escala logarítmica. Para ayudar a representar la característica de los fusibles en esta región, se emplean las curvas de corriente de entrada (figura 17) y las curvas de energía i^2t (figura 18).

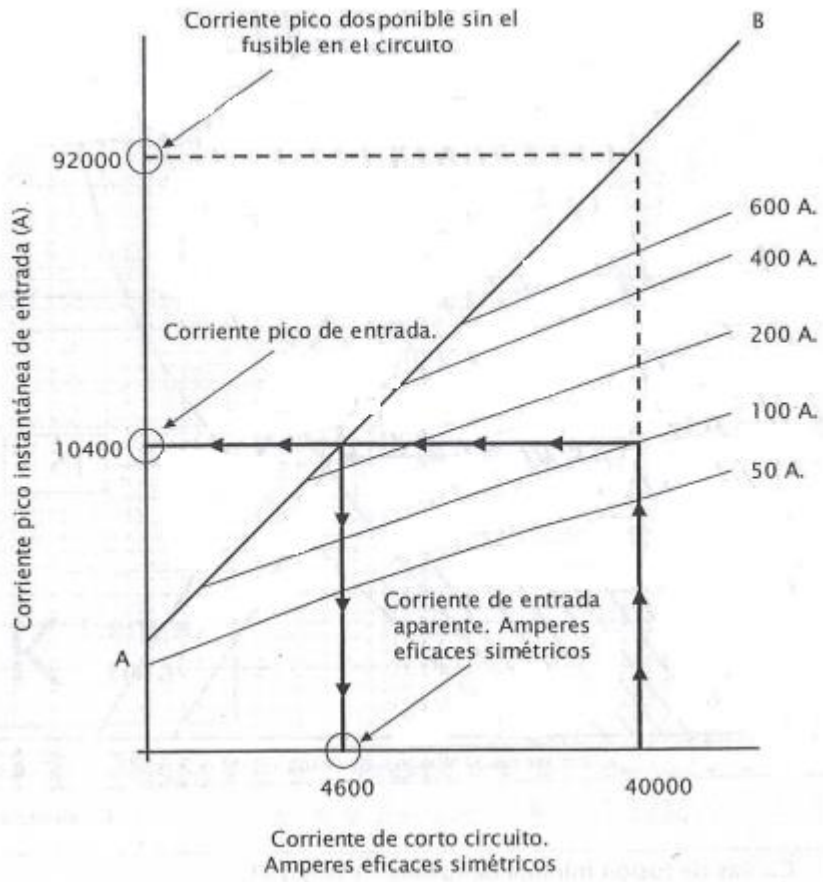


Figura 17. Curvas de corriente de entrada de fusibles limitadores.

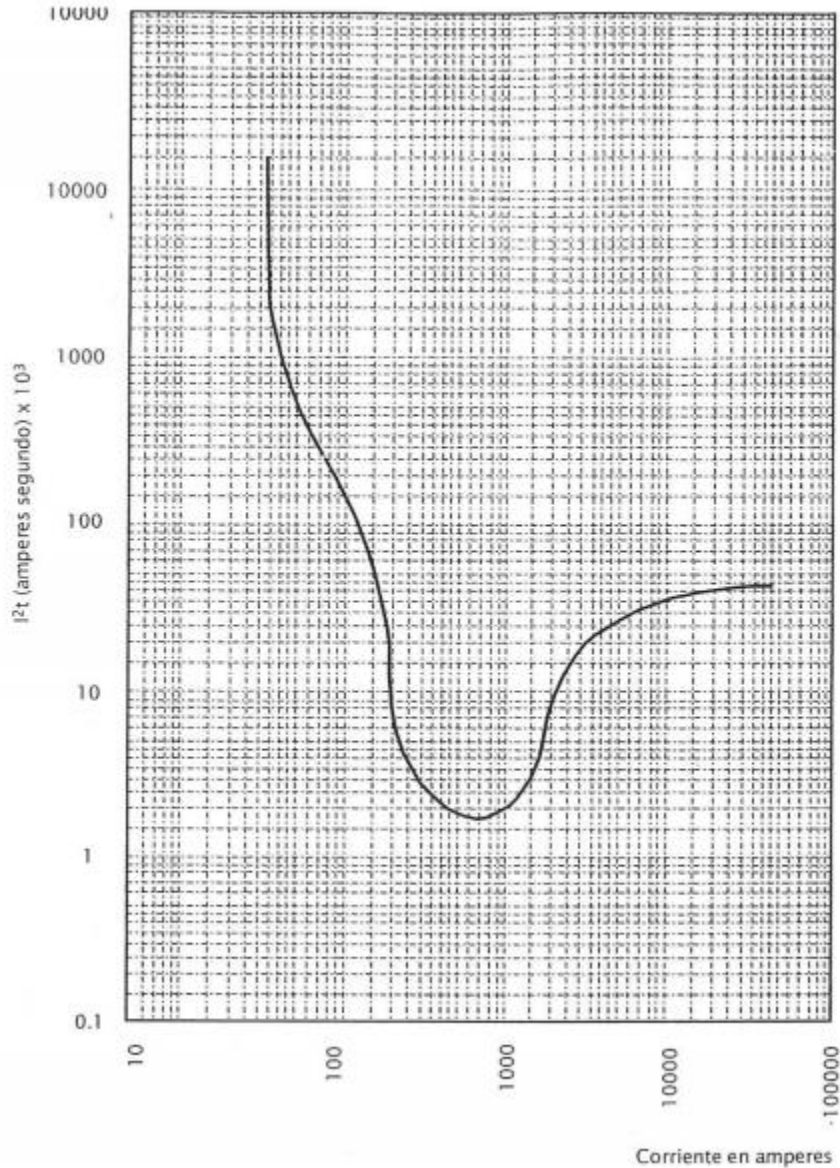


Figura 18. Curvas de energía i^2t de un fusible limitador.

Los fabricantes de fusibles publican curvas de corriente de entrada (Let Through Current Charts) similares a las de la (figura 17), para fusibles limitadores de corriente. En el eje horizontal se dan las corrientes de corto circuito simétricas, y en el eje vertical las corrientes pico de entrada. La corriente pico de entrada de cualquier fusible se determina en función de la corriente de corto circuito simétrica, que se tenga en el lugar donde se desea instalar el fusible limitador, y de la curva del fusible seleccionado.

2.5.2 Fusibles de expulsión

El típico fusible de expulsión utiliza un elemento fusible de sección relativamente pequeña, que es capaz de detectar la sobrecorriente y generar el arco requerido para interrumpir el flujo de corriente. Unido al elemento fusible se tiene un conductor más

largo que se conecta al resto de la estructura. Esta construcción ayuda a que siempre se produzca el arco en un lugar predeterminado, este arco genera gases al desgastarse los materiales cercanos.

Las temperaturas del arco alcanzan valores entre 4000 y 5000 grados Kelvin. Algunos de los materiales empleados para generar gases son: Fibra, Melamina, Ácido Bórico y algunos líquidos tales como: Tetracloruro de Carbono. La función principal de los gases que se generan por la descomposición de estos materiales es crear una turbulencia con una alta presión que rodea al arco, de tal manera que cuando la corriente su cero natural y el canal del arco se reduce a un mínimo, los gases lo desionizan, permitiendo la rigidez dieléctrica.

Esta tensión dieléctrica es capaz soportar la tensión de recuperación transitoria y la tensión normal del sistema. Por supuesto, se debe tomar en cuenta el hecho de que los gases que se producen escapan hacia el exterior, algunos tipos de fusibles, tal como los de Ácido Bórico, pueden utilizar condensadores para prevenir que los gases escapen en grandes cantidades.

Los fusibles de Ácido Bórico se emplearon debido a la limitada capacidad de interrupción de los fusibles de expulsión de tubo de fibra, aunado al inconveniente de que no podían emplearse en el interior de edificios, esto originó que, durante la década de los treinta, se desarrollaran en los Estados Unidos estos fusibles. En este fusible el material usado para la acción desionizante necesaria para interrumpir la sobrecorriente no es un material orgánico sino un polvo de Ácido Bórico sólido moldeado dentro de la cámara del fusible.

A continuación, se enlistan las ventajas obtenidas con los fusibles de Ácido Bórico en comparación con los de cámara de fibra:

1. Un fusible de Ácido Bórico, comparado con un fusible de expulsión de iguales dimensiones de los portafusibles, puede interrumpir:
 - a) Un circuito de mayor tensión.
 - b) Un valor mayor de sobrecorriente.
 - c) Un rango mayor de corrientes, desde el mínimo valor de corriente hasta su capacidad interruptiva.
 - d) Menor energía del arco y reducida emisión de gases y flamas que en un fusible de expulsión de tubo de fibra.
2. El gas liberado del Ácido Bórico no es combustible y no facilita la ionización reduciendo la cantidad de flamas. Como resultado, las distancias (en la trayectoria de los gases de expulsión) necesarias para prevenir un flameo, se pueden reducir a las distancias necesarias en el aire.
3. La característica más significativa, obtenida por el empleo del Ácido Bórico, es su capacidad para eliminar o controlar la descarga de gases durante la operación de los fusibles. Cuando se expone el Ácido Bórico al calor del arco, se libera vapor que se puede condensar al desahogarse el gas en un dispositivo

de enfriamiento. Esto no es posible con el fusible de expulsión que usa material orgánico para crear el medio interrupción, los gases producidos por este fusible no se condensan.

La (figura 19) muestra la típica relación entre la onda de corriente y la onda de tensión, durante el proceso de interrupción de un fusible de expulsión. La parte significativa de esta figura es que, como se puede observar, la onda de corriente no se mueve e tal forma que su cero natura se adelanta; al final de la interrupción, la tensión se recobra rápidamente al valor de la tensión pico del sistema, presentándose entonces una alta tensión transitoria de recuperación.

Los fusibles de expulsión se deben diseñar para soportar estas tensiones transitorias. Una de las principales ventajas de los típicos fusibles de expulsión, es que la reposición se hace con una tira fusible de precio relativamente bajo. Además, existe una gran cantidad de diseños y corrientes nominales que se pueden emplear en los portafusibles. Esto permite que se emplee el mismo portafusible para diferentes tipos de fusibles y corrientes nominales.

Otra ventaja importante es que por las características de construcción del fusible se puede lograr que la cámara que contiene a la tira fusible caiga cuando opera y esto sirve como una indicación visual de que ha operado y además el montaje puede soportar la tensión 60 Hertz del sistema.

2.5.3 Fusibles limitadores de corriente

Debido al continuo incremento de la demanda de energía, las compañías eléctricas del mundo, constantemente están ampliando sus instalaciones y construyendo nuevas y más potentes estaciones generadoras, esto ha ocasionado que los niveles de corto circuito se incrementen a valores que pueden resultar peligrosos para los equipos conectados al sistema de distribución.

Ya que, durante la falla, la corriente de corto circuito genera un exceso de energía térmica y esfuerzos mecánicos, que son los que dañan a los equipos eléctricos, el limitar y controlar esta energía ha sido una de las metas principales de los fabricantes de fusibles y de los ingenieros de distribución, lográndolo con la implantación de los fusibles limitadores de corriente en los sistemas de distribución.

Los fusibles limitadores de corriente se usaron desde 1956 cuando se publicó la Norma Británica 852692, que señalaba las características más sobresalientes es estos fusibles, su empleo se hizo muy popular para proteger transformadores de distribución en 6.6 y 11 kV. En estados unidos alrededor de 1965 se empleaban principalmente para proteger transformadores de potencial y para circuitos menores de 600 volt.

La aplicación actual de los fusibles limitadores de corriente en sistemas eléctricos de distribución, ha sido para proteger transformadores y bancos de capacitores, esto

propiciado principalmente por el gran número de fallas violentas que se han presentado en estos equipos.

El Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos define a un dispositivo limitador de corriente como aquel que cuando interrumpe corrientes que están dentro de su rango de interrupción, reduce el flujo de corriente en el circuito fallado a una magnitud substancialmente menor, que la que se obtiene en el mismo circuito si el dispositivo se reemplaza con un conductor sólido de igual impedancia.

En 1969, el Instituto Norteamericano de Normas (ANSI) publicó las normas: C37.41, C37.47 y la C37.48 que definían los valores preferentes de corrientes nominales, tensiones máximas nominales, capacidades de interrupción, características tiempo-corriente, limitaciones de elevación de temperaturas, rango de las curvas tiempo-corriente, placas de datos y pruebas.

Entonces un fusible limitador de corriente consiste básicamente de uno o más alambres o listones de plata dentro de una cápsula tubular llena de arena. En la (figura 8) se muestra un corte transversal de uno de estos elementos. Para reducir las dimensiones del fusible, el elemento fusible se enrolla a lo largo de una pequeña columna de un material resistente a la temperatura, instalado a todo lo largo de la capsula sobre su eje.

La característica común de los fusibles limitadores de corriente es que, a diferencia de los de expulsión, el elemento fusible es de gran longitud. Por ejemplo, un fusible de 8.3 kV, debe utilizar un elemento de 22 pulgadas de longitud. Cuando se presenta una falla de baja impedancia, el elemento fusible se funde casi instantáneamente en toda su longitud y el arco resultante cede su energía rápidamente a la arena que lo rodea, esta energía funde la arena convirtiéndola en un material cristalino llamado fulgurita.

La rápida pérdida de energía calorífica y el confinamiento del arco por la arena fundida, forzan la corriente a un valor cero. Al estar el elemento fusible completamente rodeado por arena, al fundirse ésta, introduce una alta resistencia en el circuito en un periodo de tiempo muy corto. La interrupción de la corriente se efectúa en un tiempo que fluctúa de un cuarto de ciclo a medio ciclo.

La velocidad de respuesta del fusible limitador de corriente es su mejor característica, se puede decir que un fusible cae dentro de la clasificación de los limitadores de corriente, si impide que durante un corto circuito que se tiene en el punto de la falla. En la (figura 19) se muestra el comportamiento de una onda senoidal de corriente de falla, ante la acción limitadora de uno de estos fusibles.

En los lugares donde la corriente de corto circuito sobrepasa la capacidad interruptiva de los fusibles de expulsión existentes, se pueden aplicar los fusibles limitadores de corriente para proteger el circuito. Los fusibles limitadores de corriente interrumpen las altas corrientes de falla, antes de que la primera onda senoidal alcance su valor

máximo natural. El tiempo en que se interrumpe la corriente, depende del diseño propio del fusible, de la corriente de falla y del valor de la tensión en el momento del corto circuito.

Los fusibles limitadores de corriente deben interrumpir la falla en menos de medio ciclo y limitar la corriente máxima a un valor menor que el que se tuviera si se instala otro tipo de dispositivo de protección. La (figura 19) muestra la relación de las ondas de tensión y de corriente durante su operación ante una corriente de corto circuito de igual magnitud que en el caso de uno de expulsión.

La rápida inserción de la resistencia por la acción propia del fusible origina que a través del fusible se desarrolle un arco de alta tensión. Este se produce en un intento de parar el flujo de corriente por la inductancia del circuito. La resistencia también limita la elevación de corriente y la fuerza a un valor mucho muy bajo. En estas condiciones se tiene un alto factor de potencia en el circuito y causa que la corriente alcance su valor cero muy cerca de la onda de tensión.

En este punto se recobra la rigidez dieléctrica entre los extremos del fusible y la tensión transitoria de recuperación que se presenta es muy pequeña. Es por esto que los fusibles limitadores de corriente son prácticamente insensibles a la tensión transitoria de recuperación del circuito.

Debido a que el fusible limitador de corriente puede introducir una resistencia muy alta en el circuito, provoca sobretensiones en el circuito. Estas sobretensiones pueden producir rupturas del sistema de aislamiento o causar la operación innecesaria de apartarrayos y posibilitar que estos pararrayos descarguen la energía almacenada del circuito con falla.

Una característica adicional de los fusibles limitadores de corriente, es el hecho de que el máximo esfuerzo térmico, generalmente no ocurre a su máxima capacidad interruptiva, sino que ocurre a un valor de corriente llamado: “Corriente Crítica”, en donde la combinación de la corriente nominal, la corriente de falla y la habilidad del limitador producen la máxima energía que es absorbida por el fusible y causa el mayor esfuerzo térmico.

Arriba de este valor el esfuerzo térmico permanece igual o disminuye, sin embargo, para fallas en lugares en que la corriente de corto circuito es muy alta, la operación del fusible ocurre rápidamente y puede generar ondas de presión que debe poder soportar el diseño del fusible.

El fenómeno de interrupción es bastante diferente cuando se presentan bajas corrientes de falla, como son las que se pueden presentar con fallas de alta impedancia, o por sobrecargas sostenidas, o por fallas en el circuito secundario de un transformador de distribución. En este caso el elemento se calienta lentamente, para

finalmente fundir en un solo punto, el pequeño arco que se establece intenta quemar secciones mayores del elemento fusible.

Existen tres tipos de fusibles limitadores de corriente:

1. De rango pleno.
2. De propósito generales.
3. De respaldo.

El fusible limitador de rango pleno puede interrumpir cualquier corriente comprendida en un rango que va desde su corriente máxima nominal a aquella que funde al elemento en tiempos mayores de una hora.

El fusible de propósitos generales puede interrumpir cualquier corriente comprendida en un rango que va desde su corriente máxima nominal a aquella que funde al elemento en una hora.

El fusible de respaldo no está diseñado para interrumpir pequeños valores de corriente de falla y es por eso que debe ser empleado en serie con otro fusible que sea capaz de interrumpir pequeñas corrientes de falla.

No se pueden aplicar las reglas rígidas que gobiernen la selección de fusibles limitadores de corriente, ya que cada caso se debe decidir de acuerdo a sus propios méritos, sin embargo, a continuación, se enlistan algunas reglas que pueden resultar interesantes para el Ingeniero de Distribución:

1. La tensión nominal del fusible debe ser de 100 a 140% de la máxima tensión entre fases del circuito. No debe exceder el 140% debido a que durante la operación del fusible el arco genera una sobretensión que puede llegar a alcanzar hasta tres veces el valor de la tensión nominal del fusible.
2. La capacidad interruptiva del fusible debe ser mayor que la potencia de corto circuito en el lugar en que se instale.
3. El fusible debe tener capacidad para conducir la corriente de carga.
4. Tener en cuenta los límites de sobrecarga del fusible, esto es importante ya que si la duración de las sobrecargas se aproxima al tiempo de fusión del elemento el fusible se puede dañar y entonces cambiar sus características tiempo-corriente.
5. Si emplean otros fusibles en el circuito, se debe tener cuidado en sus selecciones para mantener una coordinación adecuada.

2.5.4 Selección de fusibles

Al aplicar fusibles en sistemas eléctricos de distribución, estos se deben seleccionar de acuerdo con el equipo que se desea proteger. Se distinguen tres aplicaciones principales:

1. Protección de transformadores de distribución.
2. Protección de bancos de capacitores.
3. Protección de acometidas Aero subterráneas.

2.6 Protección con restauradores

El restaurador es un aparato que al detectar una condición de sobrecorriente interrumpe el flujo de corriente, y una vez que ha transcurrido un tiempo determinado cierra sus contactos nuevamente energizando el circuito protegido. Si la condición de falla sigue presente, el restaurador repite la secuencia de apertura-cierre un número de veces más (generalmente son cuatro como máximo). Después de la cuarta operación de apertura, queda en posición de abierto definitivamente.

Cuando un restaurador detecta una situación de falla, éste abre en un tiempo muy corto, en ocasiones hasta de un ciclo y medio. Esta rápida operación de apertura disminuye la probabilidad de daño a los equipos instalados en el circuito. Uno, o un segundo y medio después cierra sus contactos energizados nuevamente el circuito, esto significa una pequeña interrupción a los servicios conectados.

Después de una, dos o hasta tres operaciones rápidas, el restaurador cambia a una operación de característica retardada. Este disparo retardado permite coordinar este aparato con otros dispositivos de protección (figura 20). Los restauradores tienen la característica de que se restablecen automáticamente. Si un restaurador se calibra para abrir después de su cuarta operación de apertura, pero la falla es transitoria y esta se elimina después de su primera, segunda y tercera operación, el restaurador restablece automáticamente a su posición original. Y queda listo para llevar a cabo otro ciclo de operaciones.

Normalmente el 80% de las fallas son de naturaleza temporal, por lo que es conveniente restablecer el servicio en la forma más rápida posible para evitar interrupciones de largo tiempo. Para estos casos se requiere de un dispositivo que tenga la posibilidad de desconectar un circuito y conectarlo después de fracciones de segundo.

Los restauradores son dispositivos autocontrolados para interrumpir y cerrar automáticamente circuitos de corriente alterna con una secuencia determinada de aperturas y cierres seguidos de una operación final de cierre o apertura definitiva. En caso de que la falla no fuera eliminada, entonces el restaurador opera manteniendo

sus contactos abiertos. Los restauradores están diseñados para interrumpir en una sola fase o en tres fases simultáneamente.

Pero si el restaurador es sometido a una falla de carácter permanente y pasa por un ciclo completo de recierres y aperturas hasta quedar abierto, entonces éste debe cerrarse manualmente para volver a energizar la sección de línea que protege. Los siguientes requisitos son básicos para asegurar la efectiva operación de un restaurador:

1. La capacidad normal de interrupción del restaurador deberá ser igual o mayor de la máxima corriente de falla.
2. La capacidad normal de corriente constante del restaurador deberá ser igual o mayor que la máxima corriente de carga.
3. El mínimo valor de disparo seleccionado deberá permitir al restaurador ser sensible al cortocircuito que se presente en la zona que se desea proteger.



Figura 19. Restaurador de la marca G&W.

2.7 Seccionador

Un seccionador es un componente electromecánico que permite separar de manera mecánica un circuito eléctrico de su alimentación, garantizando visiblemente una distancia satisfactoria de aislamiento eléctrico. El objetivo puede ser, por ejemplo, asegurar la seguridad de las personas que trabajen sobre la parte aislada del circuito eléctrico o bien eliminar una parte averiada para poder continuar el funcionamiento con el resto del circuito.

Un seccionador, a diferencia de un disyuntor o de un interruptor, no tiene mecanismo de supresión del arco eléctrico y por tanto carece de poder de corte. Es imperativo detener el funcionamiento del circuito con anterioridad para evitar una apertura en carga. En caso contrario, se pueden producir daños severos en el seccionador debidos al arco eléctrico.

Los switches operables bajo carga con aislamiento en gas SF₆ están diseñados para cumplir con las crecientes exigencias para la automatización de alimentadores con equipos libres de aceite, libres de mantenimiento, de larga vida útil y de máxima seguridad.

El gas SF₆ que actúa como medio de aislante y de interrupción del arco junto con el principio de soplado aseguran una firme interrupción de pequeñas corrientes, corriente principalmente activa, corriente de carga en el cable, corriente magnetizante, etc.

Los tiempos de arco extremadamente cortos (dentro de medio ciclo) más unos contactos tipo tulipán de material resistente al arco aseguran una larga vida útil de interrupción y una extensa capacidad de cierre sobre cortocircuitos. El mecanismo básico consta de aperturas y cierres rápidos, los cuales descartan la necesidad de un cierre manual por medio de un operario, a su vez combinado con un mecanismo de apertura y de cierre motorizado.

El mecanismo motorizado fue desarrollado principalmente para la automatización de las líneas para cumplir con los requerimientos de las operaciones en líneas sin tensión con la misma confiabilidad que un seccionador manual, pero siendo aún lo suficientemente rápido para la automatización del sistema de distribución (Tiempos de operación dentro de 1.2s luego de recibir el comando de apertura o de cierre).

La interrupción y el aislamiento es por medio de gas SF₆. El nivel de aislamiento y nivel de interrupción pueden ser logrados con presión atmosférica del SF₆. Se dispone de operación motorizada. Membrana de explosión en caso de sobre presión. Dispositivo de enclavamiento en caso de baja presión del gas.

Tanque de acero inoxidable, con soldadura de tungsteno y sellado a fin de obtener una larga vida útil. A continuación, detallaremos en algunos aspectos generales de los switches en SF₆ de Yaskawa.



3. Desarrollo

3.1 Análisis para la debida configuración de la red de media tensión

Para determinar un buen análisis de la instalación de equipos “EPROSEC” en red de media tensión se debe comenzar analizando el comportamiento (causas y efectos) de los circuitos de mayor aportación registran al TIU, se debe realizar un estudio profundo de la red, donde se determinará las necesidades de equipos, reubicaciones, mejoras y proyectos requeridos a futuros.

Cuando la empresa suministradora de energía toma la decisión de buscar opciones para mejorar el tiempo de restablecimiento de suministro en los segmentos del sistema eléctrico no fallado, una solución muy útil, es la de telecontrolar los equipos de protección y seccionamiento instalados en las redes de distribución de media tensión, ignorando que los resultados que se obtendrán, dependen en gran medida del grado de optimización implementado en la red de media tensión.

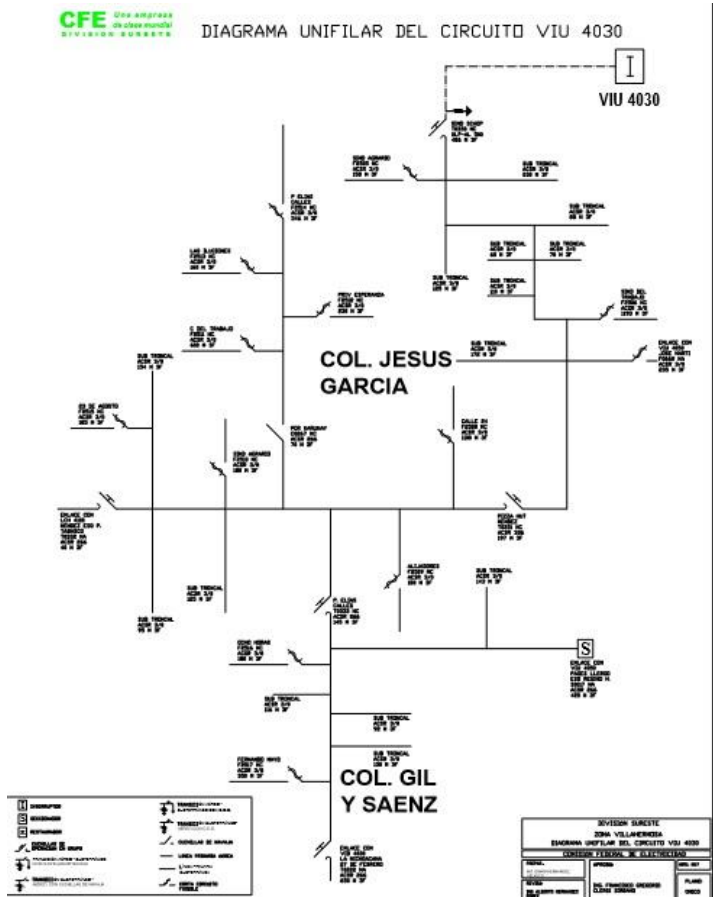


Figura 20. Diagrama unifilar circuito VIU 4030.

3.1.1. Análisis de corriente en los circuitos urbanos de media tensión en Villahermosa tabasco.

Para llevar a cabo este punto del desarrollo tomando en cuenta estudios realizados anteriormente por ingenieros del área de distribución zona centro de Villahermosa nos declinamos al estudio del circuito más crítico del área siendo este el circuito VID 4030. Con el apoyo de una función del software de uso exclusivo de CFE (SIAD).

Ya que por cuestiones técnicas y rigurosas del área de seguridad e higiene de la empresa no se pudo realizar la toma de carga en campo, nos basamos a la demanda de los usuarios mas importantes del circuito. En la *figura 20*. Se muestra la lectura en MW.



Figura 20. Imagen de los datos de usuarios importantes y carga del circuito VIU 4030.

3.1.2. Análisis de posibles fallas de interrupciones e interrupciones en los circuitos urbanos de media tensión.

Por el tipo de ecosistema en el estado de tabasco existen muchos factores que influyen a la severidad de las fallas, para determinar los agentes causantes de las fallas en el circuito, se hace una actividad de inspección de campo registrada con el número 0721, posteriormente estas anomalías o agentes causantes son capturados en una plataforma del software SIAD. Para la clasificación y la cuantificación del número de interrupciones por anomalía.

Primero se analiza el TIU por causa en toda el área centro para determinar si el VIU 4030 es realmente el circuito más crítico del área centro. *Figura 21.*

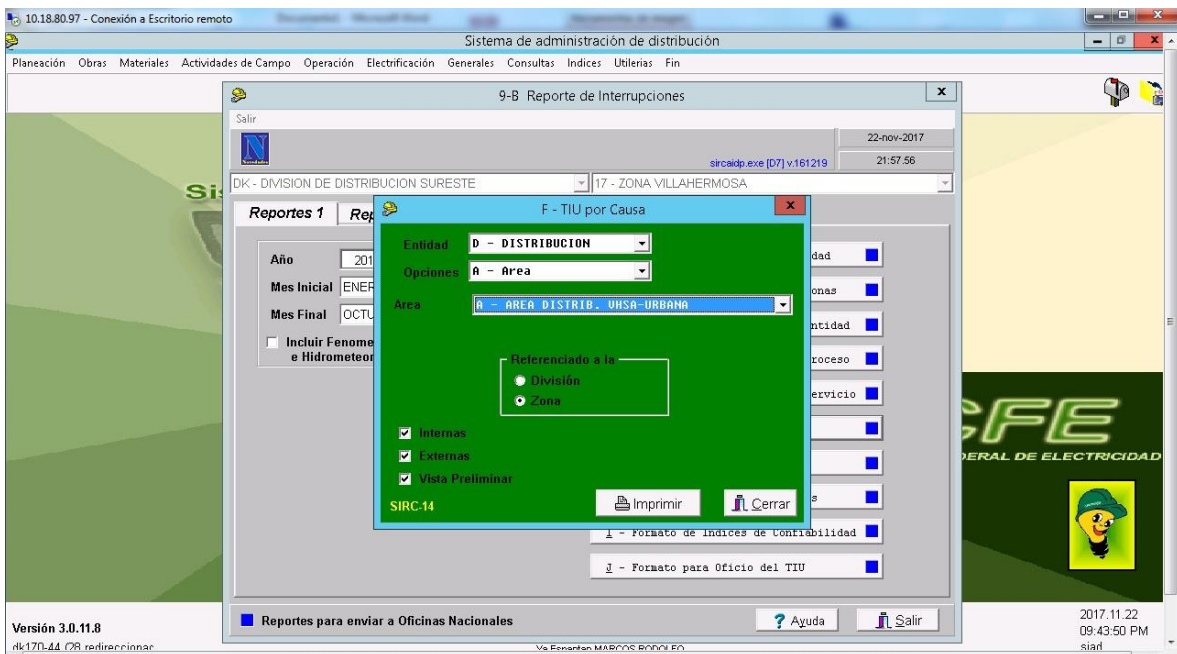


Figura 21. *Sección de la plataforma SIAD, para obtener la información de TIU por área.*

3.2 Datos para determinar que circuitos de media tensión se debe instalar un equipo EPROSEC

- a) Método (forma de hacer las cosas):
 - Aplicación del método tradicional para ubicar el equipo de protección y seccionamiento, en los circuitos de media tensión.
 - Mismo tratamiento de aplicación del método a circuitos urbanos y rurales.
 - Resistencia a la implementación de nuevos métodos para la ubicación de equipos de protección y seccionamiento.
 - Falta de conocimiento para determinar la cantidad de equipos de protección y seccionamiento que se requieren en los circuitos.
 - El equipo se adapta a la red y no la red al equipo.
 - Ejecución de maniobras para restablecer el suministro, utilizando el método de prueba y error.
 - Maniobras manual y local para el restablecimiento del suministro.
 - Tiempos prolongados de traslado para atender circuitos de media tensión rurales.
 - Durante la reparación del segmento del circuito fallado se afecta a usuarios de manera innecesaria.
 - Falta de métodos de restablecimiento diferente al utilizado actualmente.

- b) Mano de Obra (con quien se hacen las cosas):
 - Falta de personal en el horario que se presenten las interrupciones (segundos y tercer turno).
 - Falta de experiencia en la operación de los circuitos de media tensión.
 - Desconocimientos geográficos de las instalaciones eléctricas.
 - Falta de personal competente para atender con solvencia el restablecimiento del suministro.

- c) Materia (equipos de protección y seccionamiento):
 - Equipo y protección insuficiente para la operación y restablecimiento de los circuitos.
 - Deficiencia en la programación de adquisición de equipo de protección y seccionamiento.
 - Equipo de operación local y manual instalado en la red de media tensión.
 - Desconocimiento de las necesidades de equipo y características requeridas para instalar en los circuitos.
 - Especificación no actualizada para la homologación de adquisición de equipos de nuevas tecnologías.
 - Comunicación de voz y datos a través de un mismo canal de comunicación.
 - Equipos de comunicación y control obsoletos.

- d) Maquinaria (circuitos de media tensión):
- Circuitos de media tensión con más de 5000 usuarios.
 - Circuitos de media tensión con más de 7.5 MW.
 - Poblaciones rurales mayores a 750 usuarios, conectados a circuitos, sin una alimentación de respaldo.
 - Circuitos rurales de operación radial.
- e) Medio ambiente (Orografía y movilidad en Zonas Urbanas):
- Circuitos rurales alejados de los centros de atención de CFE.
 - Poblaciones rurales con alta concentración de usuarios al final de los circuitos de media tensión.
 - Impedimento del paso del personal de CFE, a predios particulares.
 - Condiciones climatológicas adversas y lugares de difícil acceso durante el restablecimiento del suministro.
 - Instalaciones de difícil acceso.
 - Alto grado de inseguridad social en áreas urbanas y rurales.
 - El horario en que se presentan el mayor porcentaje de interrupciones es después de las 16 horas.
 - Alta concentración vehicular que impide la movilización del personal para la atención de fallas.

3.3 Análisis y determinación del tiempo y restablecimiento del suministro (TRS)

Al punto de esta actividad normalmente se dice que el mayor porcentaje de interrupciones suceden alrededor de las 16:00 horas, no teniendo acceso a los datos del tiempo promedio de restablecimiento del suministro, pero con la ayuda de los trabajadores de campo se dice que el tiempo de restablecimiento en ocasiones es de 4 horas.

4. Resultados y Conclusiones

En base al estudio del diagrama unifilar, los datos históricos de interrupciones entre el 2016 y el 2017, los cálculos de corto circuito y la coordinación de protecciones, se reafirmó un proyecto existente en el área; la instalación de un equipo de protección, en este caso un restaurador unidireccional entre las estructuras de Tatmulte de la Sabana y Parrilla, para reducir el número de interrupciones en uno de los circuitos críticos de la zona sur de Villahermosa. PLL-4030.

En la tabla 4.1 se muestra el TIU (tiempo de interrupción de usuario), en el troncal y ramales del circuito PLL-4030, reflejándose la intervención del restaurador instalado en noviembre del 2016.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RAMAL	0.0066	0.0113	0.0119	0.0126	0.0175	0.0333	0.0333	0.0426	0.0498	0.0498	0.05	0
TRONCAL	0	0	0	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.0469	0.1479	0.1479	0.1479	0

Tabla. 4.1 – TIU acumulado en el año 2016.

En la tabla 4.2 se expresa el NI (número de interrupciones) en troncal y ramal en lo que va del año 2016 en el circuito PLL-4030, notándose estabilidad en interrupciones en los ramales.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RAMAL	4	9	11	12	16	20	20	24	26	26	27	0
TRONCAL	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	0

Tabla 4.2- NI acumulado en el año 2016.

Las tablas anteriores dan a entender la importancia de la realización del proyecto; un restaurador como solución al tiempo de interrupción por usuario impactando directamente a los indicadores del estándar internacional como es el caso del SAIDI. Conocer la corriente de corto circuito en un estudio para determinar la instalación de equipos EPROSEC. Y así determinar entre que estructuras se encuentra la falla, lo que conlleva a la minimización del tiempo de inspección en la red y un restablecimiento más rápido y eficiente.

Con la simulación de fallas en los softwares de SIMSEDIS Y ASPEN se obtuvieron las corridas y resultados de la corriente de corto circuito, obteniendo valores semejantes entre ambos softwares utilizados por la Comisión Federal de Electricidad.

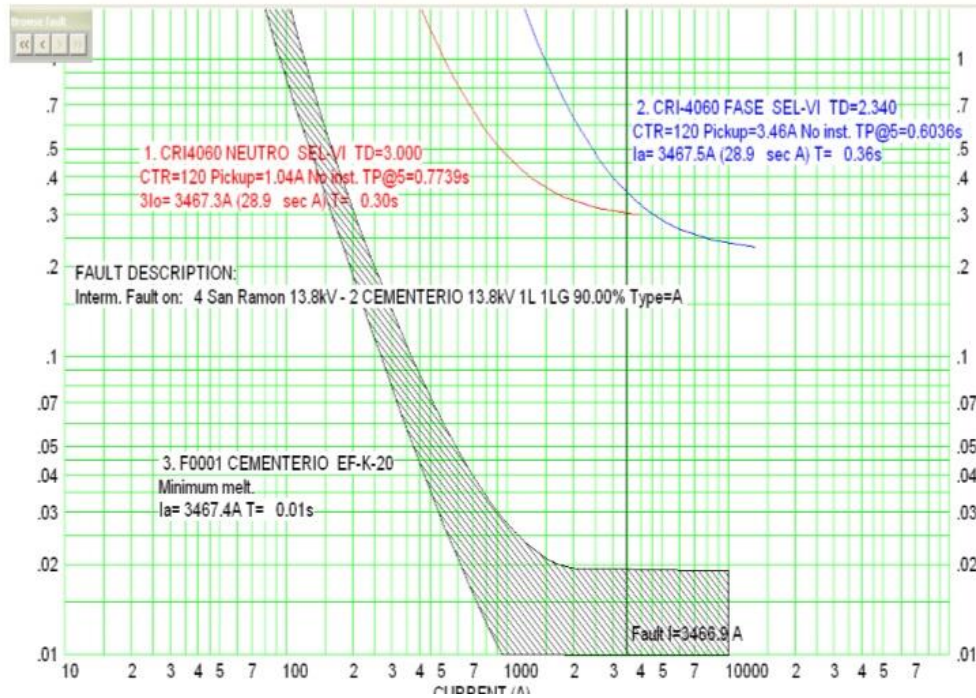


Fig. 4.1- Gráfica de comportamiento de protecciones en el primer ramal del circuito.

Como se observa en la figura 4.1, al ocurrir una falla en el primer ramal al 90%, que lleva por nombre EL DORADO, opera la primer operación (línea negra) a los 0.01 segundos, en caso de haber un error en la apertura del fusible, opera la operación del interruptor de neutro (línea roja), a los 0.30 segundos para evitar que la falla afecte otros equipos importantes, en caso de no operar la primer protección, entra la protección del interruptor de fase (línea azul) a los 0.36 segundos.

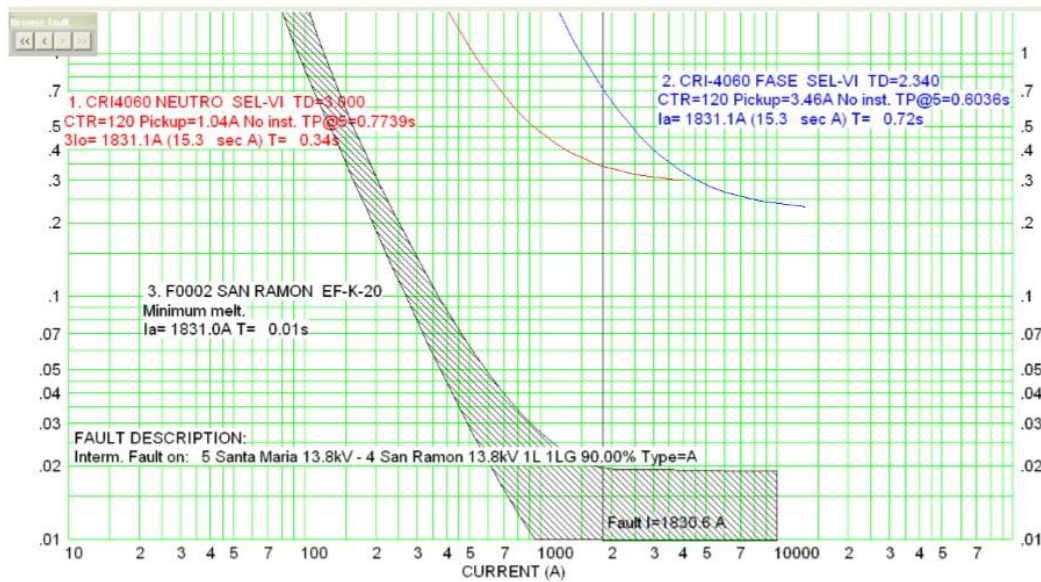


Fig. 4.2- Gráfica de comportamiento de protecciones en el segundo ramal del circuito.

Como se observa en la figura 4.2, al ocurrir una falla en el ramal al 90%, que lleva por nombre EL CACAO, opera la primer protección (línea negra) a los 0.01 segundos, en caso de haber un error en la apertura del fusible, opera la protección del interruptor de neutro (línea roja), a los 0.34 segundos para evitar que la falla afecte otros equipos importantes, en caso de no operar la primer protección, entra la protección del interruptor de fase (línea azul) a los 0.72 segundos.

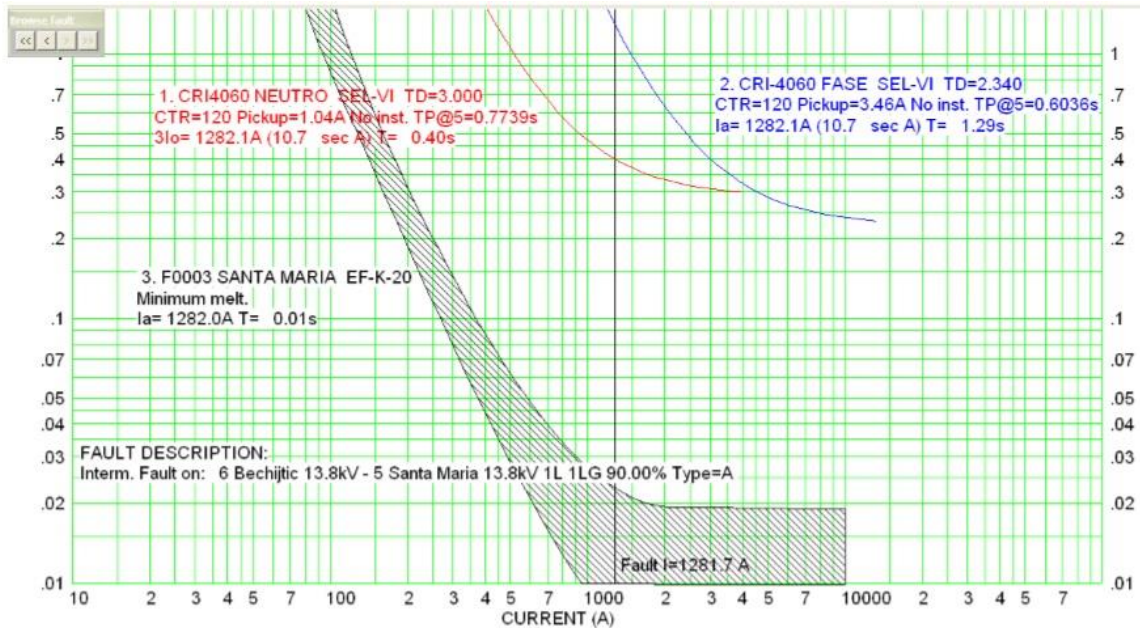


Fig. 4.3 – Gráfica de comportamiento de protecciones en el tercer ramal del circuito.

Como se observa en la figura 4.3, al ocurrir una falla en el ramal al 90%, que lleva por nombre HUESO DE PUERCO, opera la primer protección (línea negra) a los 0.01 segundos, en caso de haber un error en la apertura del fusible, opera la protección del interruptor de neutro (línea roja), a los 0.40 segundos para evitar que la falla afecte otros equipos importantes, en caso de no operar la primer protección, entra la protección del interruptor de fase (línea azul) a los 1.29 segundos.

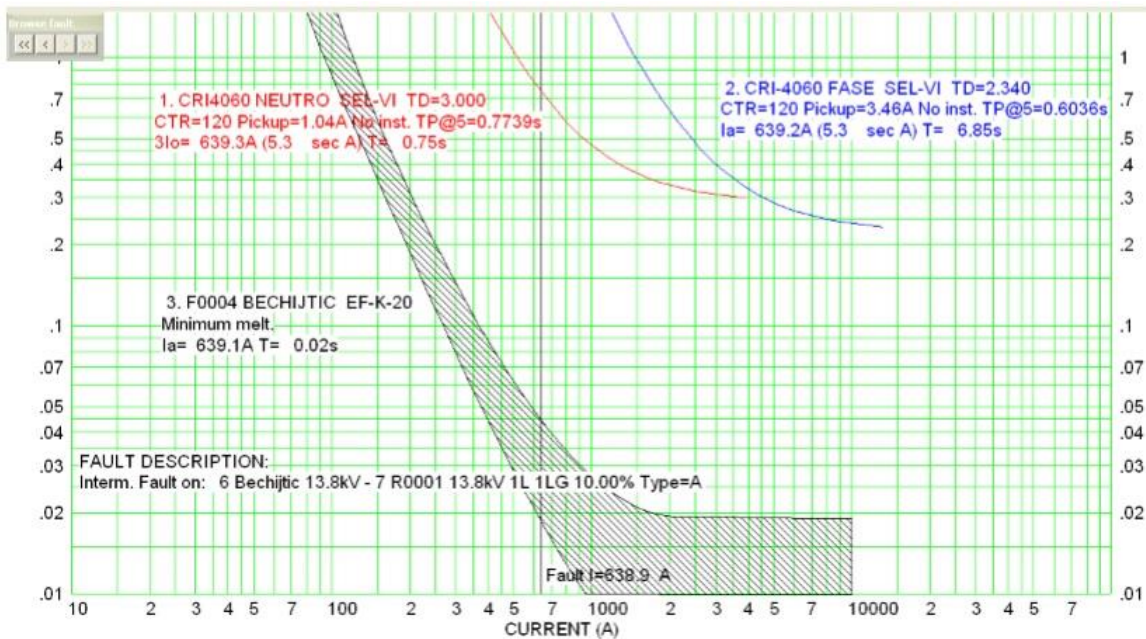


Fig. 4.4 – Gráfica de comportamiento de protecciones en el cuarto ramal del circuito.

Como se observa en la figura 4.4, al ocurrir una falla en el ramal al 90%, que lleva por nombre EL CARCAMO, opera la primer protección (línea negra) a los 0.02 segundos, en caso de haber un error en la apertura del fusible, opera la protección del interruptor de neutro (línea roja), a los 0.75 segundos para evitar que la falla afecte otros equipos importantes, en caso de no operar la primer protección, entra la protección del interruptor de fase (línea azul) a los 6.85 segundos.

Con la instalación del restaurador en la entrada de la ranchería Parrilla y los resultados obtenidos al reducir el número de interrupciones en el circuito, se realizó un estudio del comportamiento del restaurador en caso de presentarse una falla; así mismo se hicieron pruebas al mismo en apertura y cierre para comprobar su óptimo funcionamiento y la importancia que tiene la instalación de un restaurador en esa parte del circuito.

Al realizarse la corrida en el software ASPEN, se obtuvo la gráfica de curva inversa, para ver su funcionamiento.

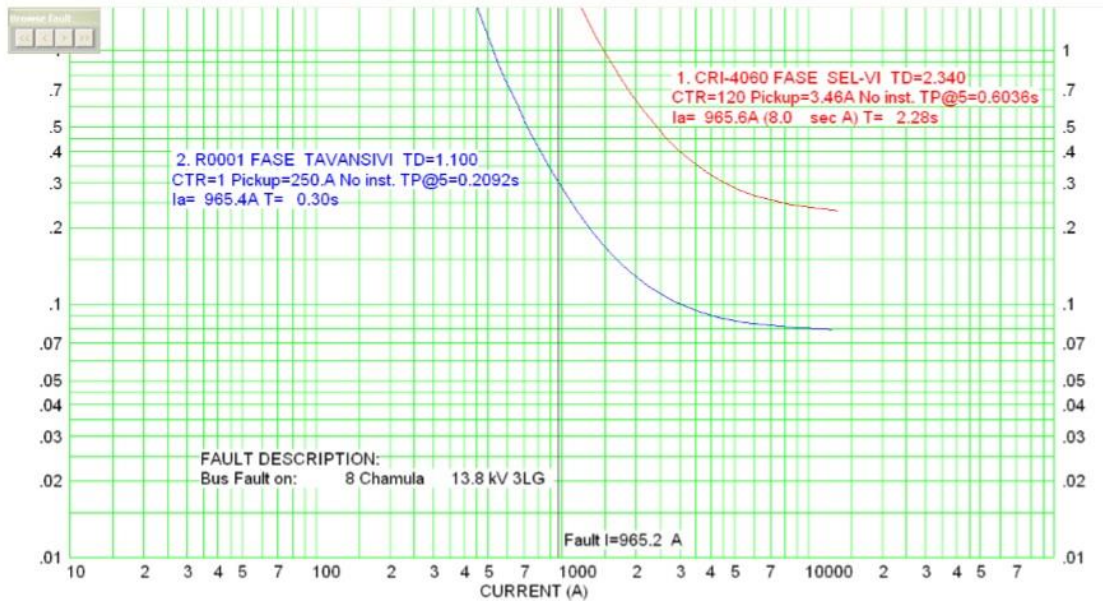


Fig. 4.5 – Curva inversa del comportamiento del restaurador instalado en el circuito.

Como se observa en la figura 4.5, al ocurrir una falla en el circuito protegido por el restaurador la protección de las fases opera en 0.30 segundos, en caso de no llegar a operar, se abre el interruptor de fase en 2.28 segundos.

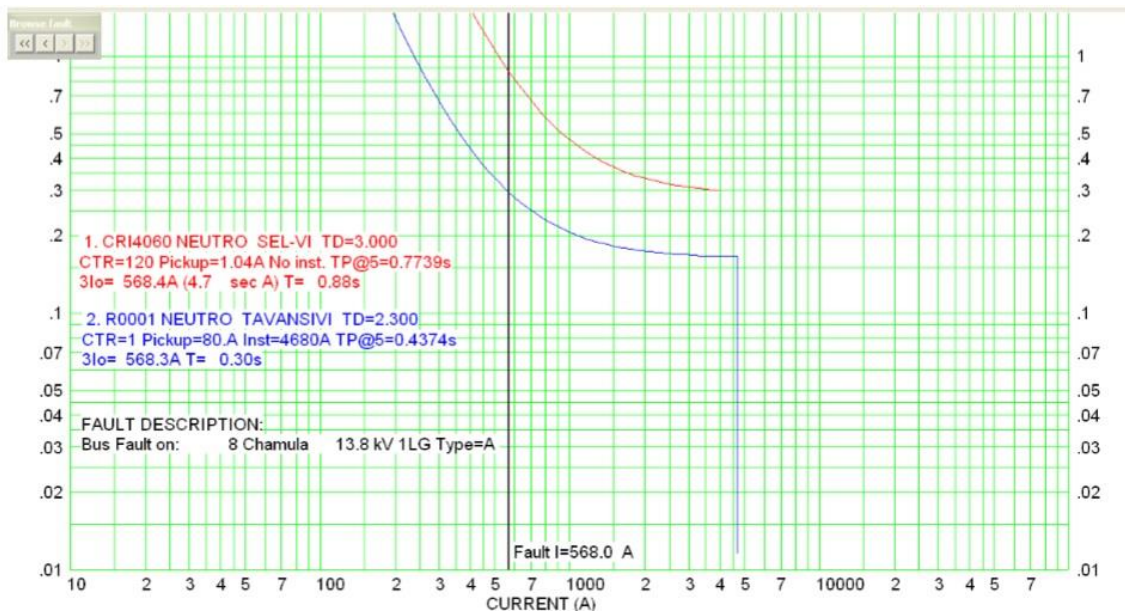


Fig. 4.6 – Curva inversa del comportamiento del restaurador instalado en el circuito.

Como se observa en la figura 4.6, al ocurrir una falla en el circuito protegido por el restaurador la protección del neutro opera en 0.30 segundos, en caso de no llegar a operar, se abre el interruptor de neutro en 0.88 segundos.

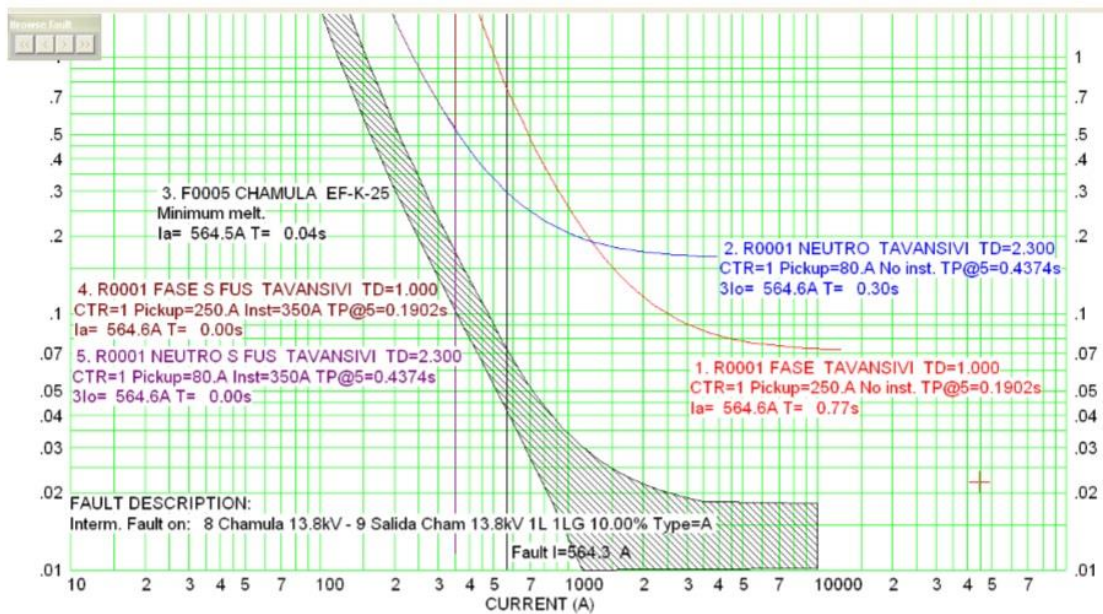


Fig. 4.6 – Curva inversa del comportamiento del restaurador con respecto al fusible del ramal el cacao.

En la figura 4.6 se observa la curva en la que se muestra el salvado de fusibles, al existir una falla el interruptor de fase y neutro del restaurador se abre a los 0.00 segundos, en caso de que pasara la falla, opera el interruptor de neutro a los 0.30 segundos, después opera el fusible a los 0.04 segundos y al final el interruptor de fase a los 0.77 segundos.

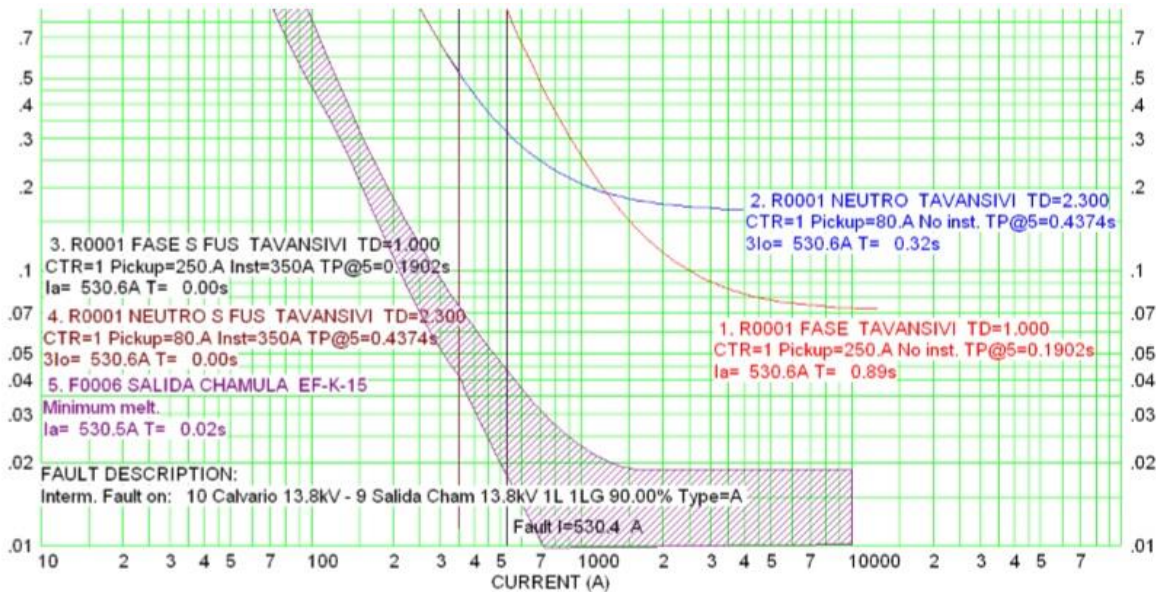


Fig. 4.7 – Curva inversa del comportamiento del restaurador con respecto al fusible de la salida de la ranchería parrilla.

En la figura 4.7 se observa la curva en la que se muestra el salvado de fusibles, al existir una falla el interruptor de fase y neutro del restaurador se abre a los 0.00 segundos, en caso de que pasara la falla, opera el fusible a los 0.02 segundos, después opera el interruptor de neutro del restaurador a los 0.32 segundos y al final el interruptor de fase del restaurador a los 0.89 segundos.

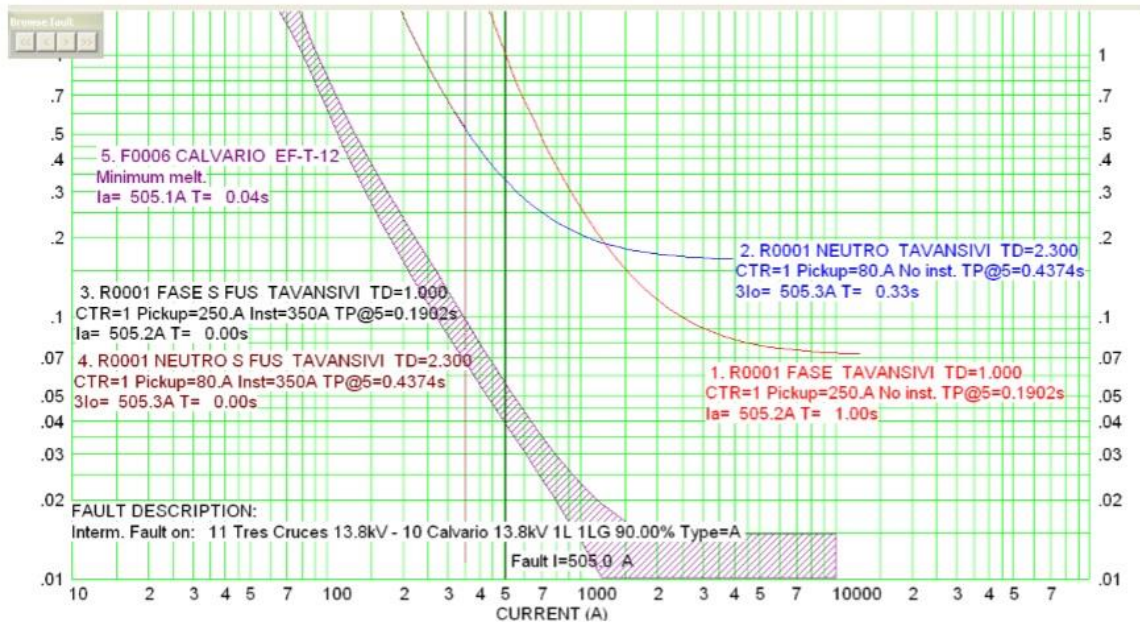


Fig. 4.8 – *Curva inversa del comportamiento del restaurador con respecto al fusible de la de la ranchería parrilla.*

En la figura 4.8 se observa la curva en la que se muestra el salvado de fusibles, al existir una falla el interruptor de fase y neutro del restaurador se abre a los 0.00 segundos, en caso de que pasara la falla, opera el fusible a los 0.04 segundos, después opera el interruptor de neutro del restaurador a los 0.33 segundos y al final el interruptor de fase del restaurador a los 1.00 segundos.

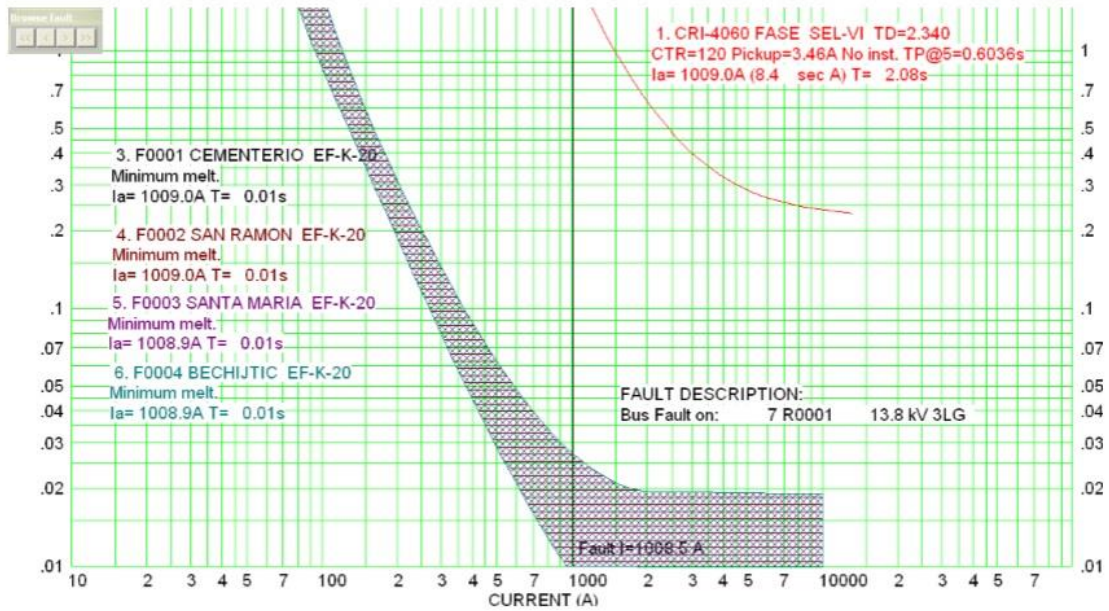


Fig. 4.9 – Curva inversa del comportamiento de los fusibles antes del restaurador.

En la figura 4.9 se observa la curva en la que se muestra el comportamiento de los fusibles del circuito PLL-4030 antes del restaurador, al ocurrir una falla, operan los fusibles de los ramales nombrados; EL DORADO, EL CACAO, HUESO DE PUERCO Y EL CARCAMO, a los 0.01 segundos, si la falla pasa sin que los fusibles operen, se apertura el interruptor de fase a los 2.08 segundos.

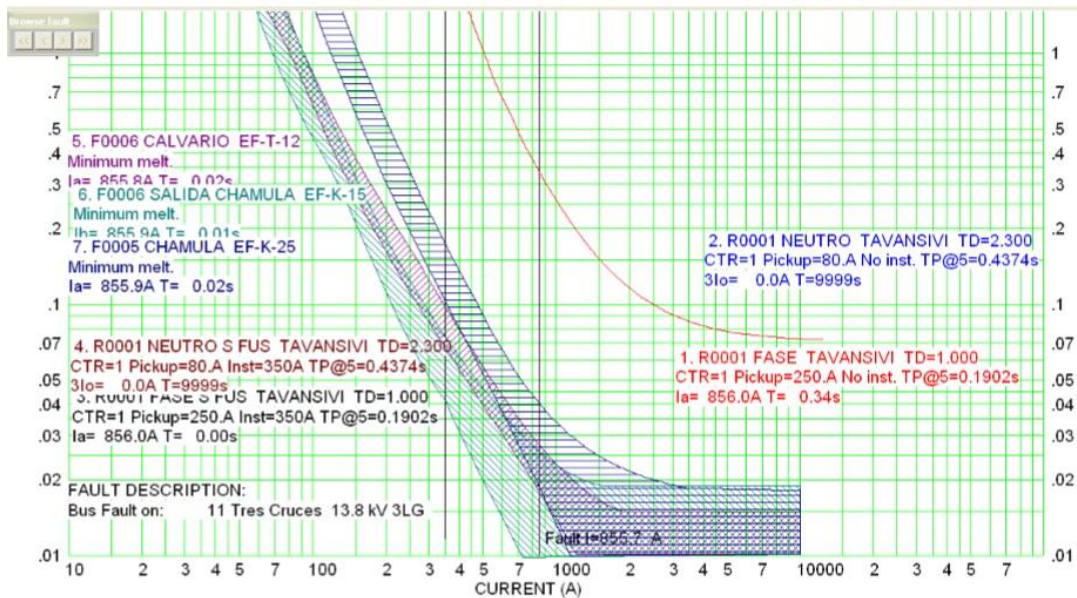


Fig. 4.10 – Curva inversa del comportamiento de los fusibles después del restaurador.

En la figura 4.10 se observa la curva en la que se muestra el comportamiento de los fusibles del circuito PLL-4030 después del restaurador, al ocurrir una falla, opera el interruptor de fase del restaurador a los 0.00 segundos, en caso de que no opere, los fusibles de los ramales nombrados EL CACAO, EL DORADO y HUESO DE PUERCO operan a los 0.02 segundos, para que, si continúa la falla, el interruptor de fase opere a los 0.34 segundos.

Conclusiones

Con la aplicación de dispositivos de protección en las redes de distribución primarias se logra la solución a fallas ocasionadas en la red de forma rápida, se garantiza seguridad a los equipos y a los consumidores de energía, es por esto que son de mucha importancia la aplicación de los dispositivos de protección en las distintas redes de distribución primaria. Es importante destacar que existen muchos dispositivos de protección, cada uno posee características distintas, pero a la final todos cumplen con el mismo rol, proteger y garantizar seguridad en los usuarios y los equipos.

Tomando en cuenta los puntos en los que nos beneficiaría.

- Incrementar el valor de satisfacción de los clientes, al reducir de manera significativa el tiempo de restablecimiento en el suministro.
- Reducir los accidentes a que no se tiene la prematura por restablecer lo mas pronto posible el suministro.
- No afectar a terceros y al medio ambiente, al no destruir plantíos, huertas y bosques.
- Contribuir con la rentabilidad de la empresa al llevar a cabo proyectos con altas tasas de retorno.
- Obtener resultados de clase mundial en el tiempo de restablecimiento.
- Preparar la red para el automatismo real del sistema de media tensión.

Los dispositivos de protección de las redes de distribución se encuentran en seccionando zonas para delimitarla y omitir señales a las distintas subestaciones en el momento que se presente una falla en la red, de esta manera se logra disminuir tiempo en la localización del lugar donde se produjo la falla y así se solventaría la solución espontánea y volver a restablecer el servicio, garantizando de esta forma seguridad a los usuarios y equipos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Juan David Escobar Ramírez, "levantamiento de protocolos de reparación de equipos especiales." Revista universidad nacional sede Medellín. Semestre I, 2009.
- [2] Juan Antonio Yebra Morón, "sistema eléctrico de distribución." Editorial revertí, politécnico nacional. Primera edición 2009.
- [3] Baeza, R.; Hernández, J. y Rodríguez, J. "Evaluación de confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica en desregulación". Revista facultad de ingeniería, U.T.A (Chile), Vol. 11, número 1, pp. 33 – 39.
- [4] Manuel González, Groupe E S.A. Switzerland. "Derivación con interruptor automático sin conexión a tierra en líneas de media tensión, Conferencia de distribución de Energía Eléctrica (CIRED 2013)", 22th Conferencia Internacional en distribución de electricidad, Stockholm. 13 de junio de 2013. Agregación a IEEE 16 de diciembre de 2013.
- [5] B. Akduman, B. Turkay, A.S. Uyar, "Service Restoration in Distribution systems Using an Evolutionary Algorithm". Convención y exhibición de distribución y conversión de energía del Mediterráneo, Agianapa, cyprus, paper No.MED 10/177, noviembre 2013.
- [6] Sumper, A., Sudriá, A., Ramírez, R., Villafáfila, R., Chindris Mircea. "Índices de continuidad en redes y su mejora". En: congreso Hispano Luso. (9a: Chile).
- [7] Garcés Ruiz Alejandro, Galvis Manso Juan Carlos, Gallego Rendón Ramón Alfonso. "Solución al problema de balance de fases y reconfiguración de alimentadores primarios bajo un modelamiento trifásico usando Simulated Annealing". Revista Scientia et Technica Año XII, No 30, mayo de 2006.
- [8] Gunther R. Raidl, Dryant A. Julstrom. "Edge sets: an effective evolutionary coding of spanning trees". IEEE Transactions on evolutionary computation. Vol. 7, No. 3, June 2003.
- [9] González Arias, Alfonso. "Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de circuitos primarios". Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Electricista. Universidad Tecnológica de Pereira. www.utp.edu.co.
- [10] B. Venkatesh, Rakesh Ranjan, and H. B. Gooi. "Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems to Maximize Loadability". IEEE Transactions on power systems Vol. 19, No. 1, february 2004.



Fig. A.2. *Delimitación del área de trabajo.*



Fig. A.3 *Planeación para la correcta instalación del restaurador.*



Fig. A.4 cubriendo líneas para cumplir con el reglamento de seguridad.



Fig. A.5 Programación del control del restaurador



Fig. A.5 *Restaurador instalado y en operación.*