

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**



**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE PROTECCIÓN  
EN SUBSISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA  
PARA LOGRAR LA CONFIABILIDAD DE LA  
CONTINUIDAD DEL SISTEMA**

**PRESENTADO POR:**

**DENNIS JHON TURPO CUTIMBO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERU  
2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DE PROTECCIÓN EN SUBSISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA PARA LOGRAR LA CONFIABILIDAD DE LA CONTINUIDAD DEL SISTEMA”**

TESIS PRESENTADA POR:

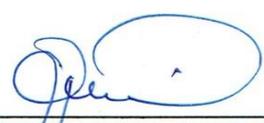
**DENNIS JHON TURPO CUTIMBO**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12-12-2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

- PRESIDENTE :   
M.Sc. ROBERTO JAIME QUIROZ SOSA
- PRIMER MIEMBRO :   
M.Sc. ANGEL MARIO HURTADO CHAVEZ
- SEGUNDO MIEMBRO :   
Ing. FELIPE CONDORI CHAMBILLA
- DIRECTOR / ASESOR :   
Mg. GREGORIO MEZA MAROCHO

Área : Electricidad  
Tema : Protección de Sistemas Eléctricos

**DEDICATORIA**

*Dedico a mis queridos padres Leonardo Turpo Panca y Blanca Cutimbo Parillo, dándome ejemplos de voluntad y fuerza para seguir adelante y alcanzar una de mis metas, agradeciendo cada momento siempre dándome su apoyo incondicional durante mi formación Académica, apoyándome en todo momento, por su consejo impartido y la confianza depositada.*

*A mi hermano Maycol Ronaldo Turpo Cutimbo, que me ha brindado su apoyo incondicional.*

*A mis amigos y seres queridos por los actos y palabras de aliento, por hacer de esta una etapa inolvidable.*

**DENNIS JHON TURPO CUTIMBO**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por permitirme por estar en mi vida, por darme fuerza y paciencia necesaria para superar los obstáculos que se presentaron en el desarrollo de este proyecto de tesis.*

*A mis padres y hermano por ser unas personas únicas en nuestras vidas, por tener la paciencia de enseñarnos con amor y aconsejarnos cada día de nuestras vidas siempre con frases positivas hacia el futuro.*

*A nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional del Altiplano, por ser el espacio académico que nos brindó la base de nuestros conocimientos y valores para nuestra vida profesional.*

*A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica: porque cada uno de ellos con sus palabras, conocimientos, motivaciones y consejos que nos guiaron nuestra formación a la excelencia ser un profesional integral.*

*Finalmente, nuestro agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han hecho posible la realización de nuestro proyecto de investigación.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b> .....	<b>11</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>14</b>
1.1 INTRODUCCION .....	14
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.4.1 PROBLEMA GENERAL.....	21
1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	21
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.6.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>23</b>
2.1 SUSTENTO TEÓRICO .....	23
2.2 PROTECCIÓN .....	26
2.2.1 PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	26
2.2.2 MÉTODOS DE PROTECCIÓN.....	27
2.2.2.1 PROTECCIÓN PREVENTIVA.....	27
2.2.2.2 PROTECCIÓN PROGRESIVA.....	28
2.2.3 FUNCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.....	28
2.3 COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN.....	28
2.4 LA PROTECCIÓN EN SUBSISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	29
2.4.1 PROTECCIÓN PREVENTIVA .....	29
2.4.2 PROTECCIÓN REPRESIVA .....	29
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN .	30
2.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN .....	30
2.5.1 PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	31
2.5.2 PROTECCIÓN DE LAS LÍNEAS. ....	31
2.6. ORGANIZACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO .....	31
2.6.1 LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS .....	32

2.6.1.1 GENERACIÓN .....	32
2.6.1.2 TRANSMISIÓN .....	33
2.6.1.3 DISTRIBUCIÓN.....	33
2.6.2 MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM).....	33
2.6.3 ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERIA (OSINERGMIN) .....	34
2.6.4 MARCO LEGAL.....	34
2.7 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
3.1 DISEÑO DE LA SUBESTACION .....	35
3.1.1 CONSIDERACIONES PARA UBICAR LA SUBESTACIÓN .....	37
3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR ...	37
3.2.1 ELECCIÓN DE LA POTENCIA BASE DEL TRANSFORMADOR ....	38
3.2.2 ELECCIÓN DE LA POTENCIA DE SOBRECARGA.....	38
3.2.3 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS .....	39
3.2.4 POTENCIAS NORMALIZADAS DE LOS TRANSFORMADORES ...	40
3.2.5 POTENCIA NORMALIZADAS DE LOS TRANSFORMADORES .....	40
3.2.6 NIVELES DE TENSIÓN EN EL PRIMARIO.....	41
3.2.7 NIVELES DE TENSIÓN EN EL SECUNDARIO .....	42
3.2.8 TENSIONES NORMALIZADAS EN LOS TRANSFORMADORES ...	44
3.2.9 POLARIDAD EN EL TRANSFORMADOR.....	44
3.2.10 GRUPOS DE CONEXIONES .....	46
3.3 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS .....	47
3.3.1 FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE. ....	48
3.3.1.1 FUSIBLES DE POTENCIA.....	48
3.3.1.2 FUSIBLES DE DISTRIBUCIÓN. ....	49
3.3.1.3 FUSIBLES DE CINTA (FUSE LINK) .....	49
3.3.1.4 LOS FUSIBLES CUTOUT DE TIPO ABIERTO.....	51
3.3.1.5 FUSIBLE DE CINTA O TIPO CHICOTE (FUSE LINK).....	54
3.3.1.6 FUSIBLES DE HILO PARA BAJA Y MEDIA TENSIÓN TIPO H, K, T Y DUAL .....	55
3.3.1.6.1 FUSIBLE TIPO CHICOTE.....	55
3.3.1.6.2 FUSE LINK.....	55
3.3.2 ALTITUD MÁXIMA DE INSTALACIÓN DE LOS SECCIONADORES FUSIBLES (CUTOUT).....	61
3.3.2.1 ELECCIÓN DEL SECCIONADOR TIPO FUSIBLE CUT-OUT ...	62

3.3.2.2	CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL EN EL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR ( $I_p$ ).....	62
3.3.2.3	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SOBRECARGA ( $I_{sp}$ ).....	63
3.3.2.4	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE INSERCIÓN ( $I_{ns.}$ ) .....	63
3.3.2.5	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ( $I_{cc}$ ). ...	63
3.3.3	FUSIBLES NORMALES O ESTANDAR .....	66
3.3.3.1	LOS FUSIBLES DE CONTACTOS DE CUCHILLA.....	70
3.3.3.2	FUSIBLES DE BAJO VOLTAJE CON ALTA CAPACIDAD DE RUPTURA CON CONTACTOS DE CUCHILLA.....	72
3.3.4	INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.....	75
3.3.4.1	INTERRUPTOR DE BAJA TENSIÓN EN CAJA COMPACTA (MOLDED CASE).....	75
3.3.4.2	CARACTERÍSTICAS:.....	77
3.3.4.3	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS .....	78
3.3.5	ELECCIÓN DE LOS FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN.....	80
3.3.5.1	CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL ( $I_n$ ) .....	81
3.3.5.2	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SOBRECARGA ( $I_d$ ).....	81
3.3.6	ELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO .....	82
3.3.6.1	CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL EN EL SECUNDARIO ( $I_s$ ).....	82
3.3.6.2	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE DISEÑO ( $I_D$ ).....	83
3.4	PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES.....	84
3.4.1	EL PARARRAYOS .....	84
3.4.1.1	PARARRAYOS AUTOVALVULAR.....	85
3.4.1.2	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVA.....	86
3.4.1.3	IMPULSO MÁXIMO DE LA TENSIÓN DE DESCARGA: ( $K_v$ ). ...	87
3.4.1.4	MÁXIMA INTENSIDAD DE DESCARGA: ( $K_a$ ).....	87
3.4.1.5	PROTECTOR CONTRA SOBRETENSIONES DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	89
3.4.1.6	ELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN DEL PARARRAYOS.....	92
3.4.1.7	ELECCIÓN DE LA TENSIÓN POR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	92
3.4.1.8	ELECCIÓN POR EL NIVEL DE AISLAMIENTO.....	92
3.4.1.9	POR LA ALTITUD DE LA INSTALACIÓN .....	93
3.4.2	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA .....	94
3.4.2.1	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	95

3.4.2.1.1	CIRCUITOS DE CONDUCTORES DE UNIÓN .....	95
3.4.2.1.2	ELECTRODO O TOMA DE TIERRA.....	95
3.4.2.1.3	LA TIERRA PROPIAMENTE DICHA .....	96
3.4.2.2	INSTALACIONES QUE DEBEN PONERSE A TIERRA.....	96
3.4.2.3	CALCULO DE LA PUESTA A TIERRA. ....	97
3.5	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	98
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>99</b>
4.1.	RESULTADOS.....	99
4.1.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA POTENCIA .....	99
4.2	PROTECCION DE LA SUBESTACION .....	105
4.2.1	ELECCIÓN DEL SECCIONADOR TIPO CUTOUT.....	105
4.2.2	ELECCIÓN DEL TERMOMAGNETICO.....	105
4.2.3	ELECCIÓN DE LOS FUSIBLES B.T. ....	106
4.3	COORDINACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.....	106
4.3.1	TIEMPOS DE ACTUACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO.....	108
4.3.2	ELECCIÓN DEL PARARRAYOS .....	111
4.3.3	DIMENSIONAMIENTO DE LAS TOMAS DE TIERRA.....	112
4.3.4	Procedimientos de coordinación.....	113
4.5	DISCUSIÓN .....	114
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXO .....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Subestación de caseta o interior .....	24
Figura 2.2. Subestación exterior.....	24
Figura 2.3: SE Trifásica biposte .....	25
Figura 2.4: SE monofásica monoposte.....	25
Figura 2.5: Organización del Sector Eléctrico (Fuente: MINEM).....	31
Figura 2.6: Actores que intervienen en el mercado eléctrico .....	32
Figura 2.7: Características de los Agentes del sector eléctrico.....	32
Figura 3.1. Estación Monoposte.....	36
Figura 3.2. Estación Biposte.....	36
Figura 3.3. Sistema 13.2 Kv con retorno por tierra. ....	42
Figura 3.4. Fusible de cinta (fuse link).....	50
Figura 3.5. Fusible tipo CUT OUT .....	51
Figura 3.6. Fusible tipo Chicote .....	54
Figura 3.7. Características de Fusible Convencional.....	54
Figura 3.8. $t_1$ : Pre arcing, $t_2$ : Arcing .....	57
Figura 3.9. Relación de rapidez del fusible tipo T y tipo K .....	57
Figura 3.10. Curvas de cálculo fusibles tipo K.....	58
Figura 3.11. Fusible Tipo T respuesta (Lento).....	59
Figura 3.12. Elemento Fusible "K" (Rápido).....	60
Figura 3.13. Fusible tipo tapón (de rosca) .....	68
Figura 3.14. Fusible tipo cartucho con contactos ferrules.....	68
Figura 3.15. Fusible tipo cartucho con contactos de cuchilla .....	68
Figura 3.16. Fusibles cortocircuitos de rosca (sistema D y DO).....	69
Figura 3.17. Fusibles cortocircuitos de cuchilla (sistema NH).....	69
Figura 3.18. Los fusibles de contactos de cuchilla.....	71
Figura 3.19. Curvas de Fusible BT NH.....	74
Figura 3.20. Curvas de Fusible BT NH.....	74
Figura 3.21. Interruptor de baja tensión en caja compacta .....	76
Figura 3.22. Interruptor Automático de Baja Tensión en Caja Aislada Compacta (Molded Case).....	79
Figura 3.23. Pararrayos o descargador de tensión.....	88
Figura 3.24. Conexión incorrecta y conexiones correctas.....	94
Figura 3.25. Conectores de unión .....	95
Figura 3.26. Varilla de electrodo o toma de tierra .....	95

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3.1. Características De Instalación.....	47
Tabla 3.2. Características Estándar .....	52
Tabla 3.3. Los Seccionadores Fusibles .....	61
Tabla 3.4. Capacidad de Ruptura del Fusible .....	67
Tabla 3.5. Corriente Nominal para Fusibles de Cuchilla .....	72
Tabla 3.6. Distancias de Separación para la Instalación de Pararrayos (Mm) .	91
Tabla 3.7. Valores en Kv para la Elección del Pararrayos .....	93
Tabla 4.1. Dimensionamiento de la Potencia .....	99
Tabla 4.2. Características del Transformador .....	100
Tabla 4.3. Elección del Seccionador Tipo Cutout.....	101
Tabla 4.4. Elección De Fusible.....	102
Tabla 4.5. Características del Interruptor Termomagnético .....	102
Tabla 4.6. Elección del Pararrayos .....	104
Tabla 4.7. Resumen de Cálculo de Corrientes.....	105
Tabla 4.8. Fusible Elegido.....	106
Tabla 4.9. Circuito I: Fusible 20 NH00 .....	107
Tabla 4.10. Circuito II: Fusible 16 NH00 .....	107
Tabla 4.11. Circuito III: Fusible 10 NH00 .....	108
Tabla 4.12. Regulación en 80 A Interruptor Termomagnético.....	108
Tabla 4.13. Regulación en 90 A Interruptor Termomagnético.....	109
Tabla 4.14. Regulación en 100 A Interruptor Termomagnético.....	109
Tabla 4.15. Sobrecarga Admisible de Transformadores en Baño de Aceite..	109
Tabla 4.16. Fusible de 2K .....	110
Tabla 4.17. Tiempo de Actuación por Cortocircuito NH .....	110
Tabla 4.18. Tiempo de Actuación por Cortocircuito NF.....	111

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CNE : Código Nacional de Electricidad

MEM : Ministerio de Energía y Minas

CEI : Comité Internacional de Electricidad

DGE : Dirección General de Electricidad

## RESUMEN

El desarrollo de este trabajo se centra en los Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE), específicamente en los subsistemas de distribución secundaria, en el análisis de los sistemas de protección eléctrico. Muy importantes en el estudio y diseño de los proyectos de instalaciones eléctricas de distribución secundaria, la importancia de la seguridad en las instalaciones eléctricas nace de la necesidad de contar un sistema que brinde protección a las instalaciones eléctricas, contra los imprevistos que se presenten durante su funcionamiento, este sistema comprende la protección de los equipos de transformadores, tableros, y otros componentes. El problema de este trabajo de investigación, es desarrollar el análisis de los diferentes componentes del sistema de protección, de redes secundarias, y poder elegir los mejores elementos, dispositivos o equipos que nos garanticen la seguridad de un servicio continuo y confiable a los usuarios del sistema y como hacer su uso o cálculo más eficiente.

**Palabras Clave:** Sistemas de protección eléctricos, red eléctrica secundaria, confiabilidad, continuidad eléctrica

## ABSTRACT

The development of this work focuses on the Small Electrical Systems (PSE), specifically in the secondary distribution subsystems, in the analysis of electrical protection systems. Very important in the study and design of electrical distribution projects for secondary distribution, the importance of safety in electrical installations arises from the need to have a system that provides protection to electrical installations, against unforeseen events during its operation, this system includes the protection of transformer equipment, panels, and other components. The problem with this research work is to develop the analysis of the different components of the protection system, of secondary networks, and to be able to choose the best elements, devices or equipment that guarantee the security of a continuous and reliable service to the users of the system and how to make its use or calculation more efficient.

**Keywords:** Electrical protection systems, secondary electrical network, reliability, electrical continuity

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCION

Los centros poblados nuevos o pueblos jóvenes, siempre han constituido problemas, tanto por su inaccesibilidad como por su alejamiento de los centros de congestión poblacional. En nuestro país las zonas rurales y los pueblos jóvenes actualmente en su mayoría carecen de energía eléctrica, debido a que se encuentran lejanos de los centros de generación, o la capacidad energética no es suficiente para abarcar estas zonas.

Últimamente con la ampliación de algunas centrales en el país, que representan el 40% de la capacidad energética del país, permite abarcar lugares lejanos de los centros de consumo, como las zonas rurales, que les proporcionará energía de aplicación directa para la luz, calor, máquinas y otros artefactos, que reflejarán un adelanto en nuestro poblador rural y por ende en el progreso de nuestro país.

Los proyectos de electrificación de ampliación en urbanizaciones nuevas o en zonas rurales, deben realizarse de forma que la calidad de esta energía dé a las lámparas el brillo adecuado y hacer funcionar los artefactos en forma correcta y toda su capacidad. Por lo que debe garantizarse una buena capacidad de la fuente de energía (subestación) y eliminarse los riesgos asociados con la distribución de esta energía, garantizándoles un servicio continuo a los usuarios; por lo que se debe proporcionar al sistema de elementos que no permitan la suspensión del suministro o el daño de los equipos por fallas internas o externas. Estos dispositivos en su conjunto constituyen el sistema de protección.

El presente trabajo se desarrolla esencialmente en la protección de las redes de subsistemas de Distribución Primaria o media tensión en zonas nuevas de ampliación o en medios rurales, por ser este tipo de sistema de equipamiento progresivo, constituyen la base de los análisis de protección de los Sistemas de Potencia. Para este estudio, se ha basado en las normas emitidas por la Comisión de Normas de MINEM, el Código Nacional de Electricidad y códigos Internacionales y de los diferentes proyectos de electrificación realizados por la Empresa Regional Electro Puno.

El siguiente documento se estructura de la siguiente manera:

**En el CAPÍTULO I:** En este capítulo se muestra una breve descripción de la realidad del problema, antecedentes, formulación del problema, justificación del problema y formulación del objetivo general y específicos sobre los cuales se verá en la tesis.

**En el CAPÍTULO II:** En este capítulo se muestra la revisión literaria enfocada a la protección, la coordinación del sistema de protección, por lo cual los conceptos son utilizados a lo largo del desarrollo de la presente tesis.

**En el CAPÍTULO III:** En este capítulo se desarrolla el tipo y diseño de la investigación, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos y protección contra sobretensiones.

**En el CAPÍTULO IV:** En este capítulo se desarrolla el análisis e interpretación y discusiones de los resultados, en el aspecto técnico, análisis de la demanda máxima, evaluación de los componentes de protección.

**Finalmente, en los CAPÍTULOS V y VI:** Se desarrolla las conclusiones y referencias del presente trabajo de tesis.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema de investigación, parte de la necesidad de mejorar y reconocer la elección de los componentes de un sistema de protección de un subsistema de distribución secundario, comunes en el diseño de proyectos de distribución eléctrica secundarios en las urbanizaciones periféricas nuevas, pueblos jóvenes o zonas rurales urbanas. Este problema se enfoca en el estudio de protección para tomar acciones correctivas en la configuración del sistema y poder así llevarlo a un punto de operación estable luego de una perturbación.

## 1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA PENÍNSULA DE SANTA ELENA (EMEPE), SUB-ESTACIONES: STA. ROSA, LIBERTAD, SALINAS Y CHIPIPE”. Tesis de grado de ingeniero en electricidad. El trabajo desarrolla el estudio de una alternativa de protección y coordinación de dispositivos de sobre corriente para el sistema eléctrico de los cantones La Libertad y Salinas, redes actualmente administradas por la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena – EMEPE -. El proyecto tiene como finalidad mejorar la confiabilidad y continuidad del servicio de energía eléctrica, para los ingenieros de planificación en estudios futuros. (Villón Villacreses, 2002).

“COORDINACION DE PROTECCIONES EN SISTEMAS ELECTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S. A. DE C. V.”. Analiza la protección bajo experiencias basadas en Industria Alkali S.A.de C.V. tiene como finalidad brindar la información necesaria a las personas que están relacionadas con el proceso de diseño de ingeniería eléctrica, y relacionado con el estudio de los principios y

fundamentos básicos de los elementos a proteger, aplicando la coordinación de protecciones, desde la correcta selección del cable, graficas de límite de comente y capacidad en amperes por calibre del conductor, ya que un cable mal seleccionado provoca daños por la capacidad de comente que circula por el conductor o también si se selecciona con una capacidad mayor de la necesaria, implica un gasto innecesario no solo porque se incrementa el costo del cable, sino por la necesidad de seleccionar otros elementos de mayor tamaño, como por ejemplo la tubería conduit. Además, se ofrece un amplio estudio de los diversos fusibles para proteger motores de inducción, y subestaciones secundarias. En las subestaciones se utilizan fusibles de ácido bórico que tienen el tiempo de repuesta más rápido que el eslabón fusible tipo mK o tipo "T"; éstos fusibles de ácido bórico se instalan en interruptores de alta tensión, lo que se ilustra con fotografías para una mayor claridad; se dan a conocer las diferentes tablas de selección de fusibles dependiendo del rango de voltaje de alimentación, la potencia de los transformadores y motores eléctricos; se aplican las diferentes gráficas de corriente permitida en cada tipo de fusible para determinar la correcta coordinación de protecciones y no afectar toda la línea de trasmisión, o se produzcan daños en los transformadores por el primario y secundario. Todo esto con la finalidad que al presentarse un problema no afecte otros equipos ajenos al punto donde se registró. (SAN MIGUEL, 2001).

“EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD MEDIANTE EL MÉTODO DE MODO DE FALLAS Y UBICACIÓN ÓPTIMA DE SECCIONADORES EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”. En la tesis se desarrolla la problemática de la calidad del suministro eléctrico en redes de media tensión, para ello se ha desarrollado un procedimiento, que permita cuantificar la continuidad del servicio

eléctrico y dar alternativas para un aumento de la confiabilidad del sistema, teniendo como objetivo seleccionar la alternativa óptima al mínimo costo, para lo cual se desarrolla un algoritmo que permita la ubicación de seccionadores en una red de distribución. El resultado es desarrollar una metodología, que permita definir la ubicación de los seccionadores y la cantidad de éstos en la red de distribución, considerando el costo de su implementación. La efectividad de dicha metodología se ilustra con una aplicación para el sistema de distribución en 10 kV de la ciudad de Iquitos. (Hernán ayre, 2005).

“ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO HUACRACHUCO II ETAPA”. En la Tesis se desarrolla el “Estudio y Diseño del Sistema Eléctrico, Huacrachuco II Etapa”, este estudio en particular se inicia con la existencia de una necesidad que viene a ser el de contar con un servicio que sea económico, comparado con lo que actualmente utilizan, el kerosén, la vela, las pilas y otros. El 82% de los hogares existente en el territorio ya se encuentran electrificados, existen todavía 18% que faltan, que son grupos de familias que se encuentran distantes de los lugares que tienen acceso, la ruta crítica para la ejecución de este tipo de proyecto como obra, ya no es la adquisición de los materiales de acuerdo a los plazos, en este tipo de obra la ruta crítica es el traslado de los materiales a los puntos donde serán instalados, los postes, ferretería, conductores, transformadores, tableros, y otros, siendo necesario la utilización de mano de obra no calificada para la ejecución de estos trabajos, dirigida por profesionales y técnicos con experiencia en maniobra de equipos y herramientas que serán utilizados. El desarrollo de un Estudio y Diseño es complementado con criterios de experiencia adquirida en la ejecución de obras similares que se vienen ejecutando en nuestro país. (Granados, 2012).

“ESTUDIO DE COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES PARA MEJORAR LA SELECTIVIDAD EN EL ALIMENTADOR DE MEDIA TENSIÓN TSU-016 DE HIDRANDINA S.A, LA LIBERTAD 2015”. En esta investigación se hace el estudio de coordinación de las protecciones para mejorar la selectividad en el alimentador de media tensión TSU-016 de Hidrandina S.A, La Libertad 2015, mediante la recopilación de la información de la radial, modelado del sistema eléctrico actual, se procedió a determinar los ajustes en los relés teniendo para fallas trifásicas un factor de arranque para la función (51) de 1.2 a 1.58 y para fallas de sobrecorriente a tierra (51N) se tomaron como factor de arranque 0.1 a 0.5 de la corriente de carga, y modificándose los tiempos de margen de coordinación entre 0.03 seg a 0.4 seg. (Herrera, 2015).

“ESTUDIO DE PROTECCIONES EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA C.A ELEGGUA FILIAL DE LA E.D.C.”. Se realiza un estudio de protección contra sobrecorriente en la red de distribución de la Región Guarenas-Guatire de la C.A ELEGGUA, filial de la EDC, donde se evalúan un total de 54 circuitos aéreos, que operan a un nivel de tensión de 12,47 kV. Se realizó un análisis completo de los circuitos con problemas de fallas, siguiendo “La Norma de Diseño (IID) 3-2006 “Protección Complementaria de Alimentadores Primarios de Distribución” de la EDC., y con los resultados obtenidos se proponen estrategias para mejorar las condiciones de operación y disminuir la energía interrumpida durante fallas, garantizando una mejor calidad del servicio eléctrico y cumpliendo así con lo requerimientos impuestos por la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico. La metodología empleada para el desarrollo de este trabajo se divide en tres (3) etapas: Selección de circuitos primarios, ubicación tentativa de equipos de

protección contra sobrecorriente y por último, coordinación de los equipos de protección. (Yamoza, 2007).

“Protección en sistemas eléctricos”. Universidad autónoma de nuevo león. Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica. San Nicolás de los garza” . Nueva León. España. (Cervantes Vega, 2000).

ANÁLISIS, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE MEJORA DE CALIDAD DE SERVICIO A CAUSA DE FALLAS IMPREVISTAS EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO EN EL DISTRITO DE MACUSANI-CARABAYA Tesis de Maque Tinta, Robles Saul. (2016).

El trabajo tiene como objetivo analizar, diagnosticar y dar la propuesta de cómo mejorar la calidad de servicio que a causa de fallas imprevistas en el suministro eléctrico en el distrito de Macusani – Carabaya, desestabiliza todo el sistema eléctrico. Lo que ocasiona malestares a los usuarios del sistema, el método que se usa es de la observación directa, utilizando cámaras fotográficas, GPS, apuntes, y la recolección de datos de otras entidades; que dan como resultado detectar las fallas más frecuentes que se producen básicamente en la línea de transmisión LT-9002 Ajoyani - Macusani, a causa de inclemencias de tiempo, las fallas por mantenimiento y las fallas de la Línea de interconexión de alta tensión 60 KV Azángaro - Antauta. Se concluye que para solucionar estos problemas se debe independizar la línea primaria 22,9 KV de una terna, o ser reforzado a dos (2) ternas en línea de San Gabán - Macusani implementando un nuevo transformador de potencia 5/3/2MVA, 138/22.9/13.8 KV-San Gabán II y se propone el cambio total de redes primarias, secundarias. Para hacer confiable y seguro el análisis de caída de tensión, en las líneas.

## **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.4.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo elegir los componentes del sistema de protección en sistemas de distribución secundaria que garanticen la confiabilidad del sistema de protección y continuidad del sistema eléctrico?.

### **1.4.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Qué recomendaciones dan las normativas sobre protección de sistemas eléctricos de redes secundarias?.

¿Qué importancia tienen los elementos de protección en los circuitos eléctricos de redes secundarias?.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Desarrollando el trabajo de tesis se podrá analizar un sistema de protección de subsistemas de distribución lo que será de utilidad, para mejorar el diseño de los proyectos de electrificación y por efecto las obras de electrificación serán más confiables y seguras.

## **1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar los componentes del sistema de protección en sistemas de distribución secundaria para garantizar la confiabilidad del sistema de protección y continuidad del sistema eléctrico.

### 1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar la descripción y aplicación de los conceptos y recomendaciones definidos en publicaciones, normativas y prácticas de la industria orientadas a la protección de sistemas eléctricos de redes secundarias

Determinar la importancia de los elementos de protección en los circuitos eléctricos de redes secundarias.

## CAPITULO II

### II. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 SUSTENTO TEÓRICO

En su mayoría los centros de generación de energía eléctrica se encuentran en zonas distantes de los centros de consumo, por lo que para su utilización intervienen un conjunto de equipos, que permiten transportar la energía a grandes distancias con voltajes adecuados de tal forma que resulten económicos y de accesibilidad para el usuario, son las denominadas SUBESTACIONES.

Una subestación eléctrica es un conjunto de dispositivos que nos permiten cambiar las características de la energía eléctrica.

Siendo sus funciones la de suministrar energía, de elevar o reducir las tensiones, es necesario que se ubiquen en lugares estratégicos del sistema eléctrico pues proporcionan puntos en los que puedan instalarse dispositivos de seguridad para desconectar circuitos o equipos en caso de fallas.

Las subestaciones se pueden clasificar por su operación, por su servicio y por su construcción; siendo estas últimas de tipo blindado, interior y tipo exterior o intemperie.

Figura 2.1: Subestación de caseta o interior



Elaboración propia

Figura 2.2. Subestación exterior



Elaboración propia

Las instalaciones de intemperie nos permiten reducir gastos de instalación y tener mayor rentabilidad en el suministro de energía eléctrica, es por eso, principalmente en medios rurales y pueblos jóvenes se montan subestaciones transformadoras de reducidas potencias y media tensión, denominadas subestaciones en BARBOTANTE.

Figura2.3: SE Trifásica biposte



Elaboración propia

Figura 2.4: SE monofásica monoposte



Elaboración propia

En estas subestaciones en Barbotante, el transformador va colocándose en una plataforma o fijo al poste o postes, según sea el caso; estos pueden ser de madera tratada, hormigón armado o estructuras metálicas. Sus elementos adicionales son: seccionadoras, fusibles y pararrayos, todos unipolares, montados en una cruceta o adosados, según sea conveniente. Los conductores secundarios van provistos de fusibles aéreos, y algunas veces llevan en el interior de un armario estos fusibles con un interruptor tripolar de baja tensión.

En nuestro medio es comúnmente utilizado este tipo de subestación en los Subsistemas de Distribución Primaria.

En zonas de PPJJ (Pueblos jóvenes) el sistema eléctrico de potencia de un Subsistema de Distribución Primaria está compuesto por el punto de alimentación, que puede ser un sistema de generación, un sistema de transmisión o un sistema de distribución y la subestación o subestaciones finales de transformación.

Por ser una zona agreste, las líneas de transmisión de las redes rurales, y estar extendidas a través de zonas despobladas, están expuestas a las inclemencias de los agentes meteorológicos, principalmente las descargas atmosféricas, que causan variedad de daños a la línea y equipos, por lo que requieren de un sistema de protección, tanto para sobrecorrientes como para sobretensiones; que garanticen una mayor vida útil en los equipos y un mejor servicio a los usuarios.

La protección de sistemas eléctricos, hoy en día se ha convertido en toda una ciencia, por lo que existen términos que deben ser desarrollados, para tener una mejor visión del tema.

Un Subsistema de Distribución, Primaria, constituye un pequeño sistema eléctrico de potencia, y por lo tanto se da en un sistema de protección, un tratamiento igual que a un sistema cualquiera de potencia de mayor magnitud.

## **2.2 PROTECCIÓN**

Es la ciencia de prever, atenuar o corregir fallas o desperfectos que se presentan en un sistema eléctrico de potencia.

### **2.2.1 PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN**

Toda subestación debe ser protegida contra fallas externas e internas. Que pueden ser:

- Fallas externas:
  - Cortocircuitos.
  - Sobretensiones por fallas en el sistema.
  - Sobrecargas y sobretensiones de origen atmosférico.
- Fallas internas:
  - Cortocircuito entre espiras o tierra.
  - Fallas entre espiras y núcleo magnético.
  - Rotura de núcleo.

Las subestaciones aéreas (S.E.A.), sólo se protegen contra fallas externas, pues resulta antieconómico la protección contra fallas internas cuyo porcentaje es muy bajo en subestaciones de baja potencia.

## **2.2.2 MÉTODOS DE PROTECCIÓN**

Se puede clasificar básicamente en dos tipos:

### **2.2.2.1 PROTECCIÓN PREVENTIVA**

Está constituido por todos los dispositivos de protección, aptos para impedirle la producción de averías o fallas.

Están conformadas a su vez por.

- Las normas del buen proyecto de fabricación, dimensionamiento de los elementos componentes y ensayo de todas las máquinas y equipos destinados a lograr la calidad óptima que impidan se produzcan situaciones anormales durante su aplicación.
- El continuo control de los componentes: eléctricos, mecánicos, obras civiles, u otras partes a fin de prever averías o deterioros.

### **2.2.2.2 PROTECCIÓN PROGRESIVA**

Está conformada por los dispositivos que intervienen cuando se produce una falla. Limitan al mínimo esta y aíslan del servicio la parte de la instalación dañada o peligrosa, que atente en la operación del resto del sistema.

Esta continuidad de servicio, está determinado por dos conceptos:

- Tiempo de intervención de la protección, que es el lapso que transcurre desde que se inicia la falla hasta el momento en que esta parte es retirada del servicio.
- Selectividad, que es la capacidad del dispositivo de protección para descubrir en determinado tiempo el desperfecto y elegir el sector que ha de quedar fuera de servicio.

### **2.2.3 FUNCIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.**

Los sistemas de protección están diseñados para proteger generadores, barras colectoras, transformadores, líneas de transmisión, redes de distribución.

Las funciones principales de un sistema de protección son:

- Velar por la normal operación del Sistema Eléctrico de potencia.
- Mantener la estabilidad total del sistema.
- Prever que produzca un defecto o falla.
- Mitigar los efectos de una falla eléctrica que se haya producido.
- Velar por la seguridad de las personas.

## **2.3 COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN**

En todo sistema de protección debe existir una coordinación de los elementos de protección, de forma que el elemento protector más cercano a la perturbación,

sea el que actúe, permaneciendo inalterables los demás elementos; pero debiendo estar dispuestos de tal forma que actúan en forma secuencial.

## **2.4 LA PROTECCIÓN EN SUBSISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA**

Específicamente refiriéndose a redes de subsistemas de Distribución Primaria en zonas rurales o PPJ su sistema de protección está constituido de la forma siguiente:

### **2.4.1 PROTECCIÓN PREVENTIVA**

Está basado en la correcta selección y dimensionamiento de los equipos, cuidando que estos estén en perfectas condiciones de operación. Así mismo proporcionándoles un mantenimiento periódico a sus diferentes componentes.

### **2.4.2 PROTECCIÓN REPRESIVA**

Está conformado por los equipos de protección contra sobre tensiones y contra sobre corrientes.

1. La protección contra sobretensiones, se hace mediante pararrayos de diferentes tipos, usándose generalmente tipo autoválvula, que impidan el paso de ondas libres de tensión. Se colocan en el lado de alta tensión de las subestaciones, en donde las sobretensiones son en su mayor parte de origen atmosférico. También ubicados en puntos convenientes de la línea que están muy alejadas de la subestación. En el lado de baja tensión de las subestaciones, las sobretensiones son causadas generalmente por averías en la instalación, como contactos accidentales de las líneas, lo que se puede proteger con una buena protección preventiva. Una posible sobretensión es la debida al contacto accidental de fase a tierra, entonces los otros conductores de

la línea asumen el valor de la tensión compuesta, lo que se evita haciendo una buena conexión del punto neutro del arrollamiento a tierra.

2. La protección contra sobreintensidades en el lado de alta tensión se logra mediante interruptores seccionadores con retardo de tiempo controlado, para que puedan coordinarse en forma secuencial. En el lado de baja tensión, es suficiente una protección con fusibles, si la corriente no sobrepasa de 50 ó 60 amperios; pero previendo una falla trifásica, donde los niveles de corriente elevados, se instala un interruptor con protección a máxima corriente de funcionamiento termomagnético.

#### **2.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN**

Tanto en la prevención contra sobreintensidades, los dispositivos cumplen con las características que son: confiabilidad, selectividad, sensibilidad, rapidez y automaticidad. Para lo que es fundamental que proyectista sepa seleccionar y dimensionar adecuadamente el equipo, y principalmente en la coordinación de su operación con otros dispositivos de protección.

#### **2.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN**

La selección del equipo de protección se hace en base a los cálculos realizados del sistema, o de las variables que influyen en la operación del equipo.

La secuencia de cálculos del sistema de protección de Subsistemas de Distribución Primaria en medios rurales, se puede dividir en dos áreas que relacionan entre sí. La primera referente a la protección de la subestación, y la segunda referente a la línea de alimentación.

### 2.5.1 PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN.

Basado en la protección del elemento más costoso de la subestación, el transformador que incide básicamente en los diseños de capacidades, en función de la potencia elegida para el transformador y su nivel de tensión.

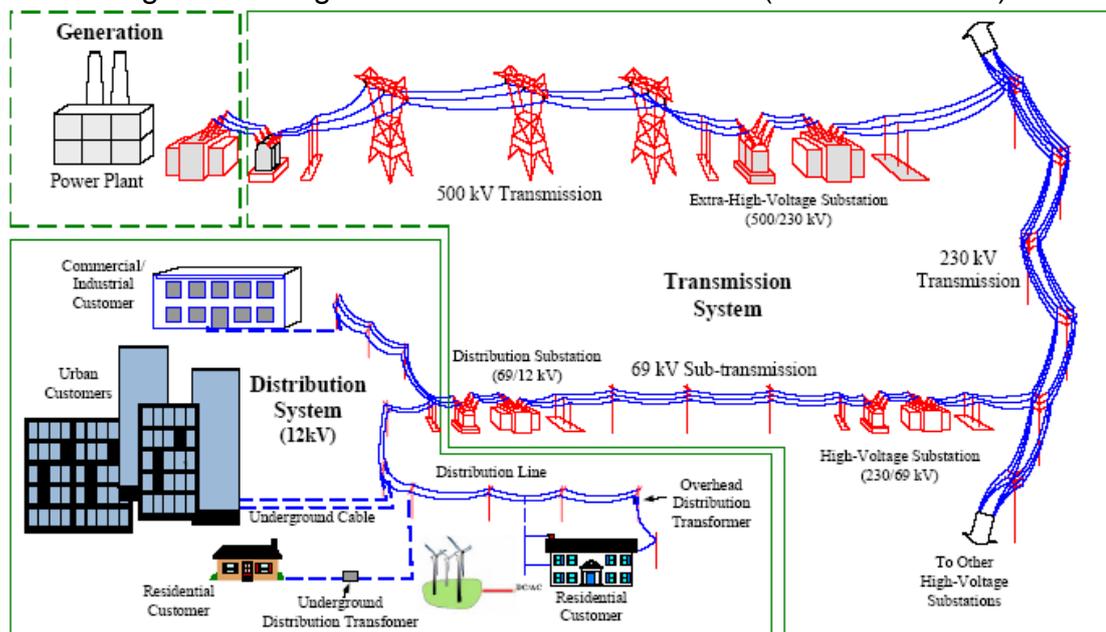
### 2.5.2 PROTECCIÓN DE LAS LÍNEAS.

Referido a la protección de las líneas o redes de alimentación, basándose en los niveles de corrientes de cortocircuito críticos.

En el punto b. es necesario hacer el cálculo de coordinación de protección, pues sus elementos protectores, tienen como respaldo los elementos protectores de la subestación, por lo que su análisis se hará tomando en cuenta las capacidades de estos elementos protectores.

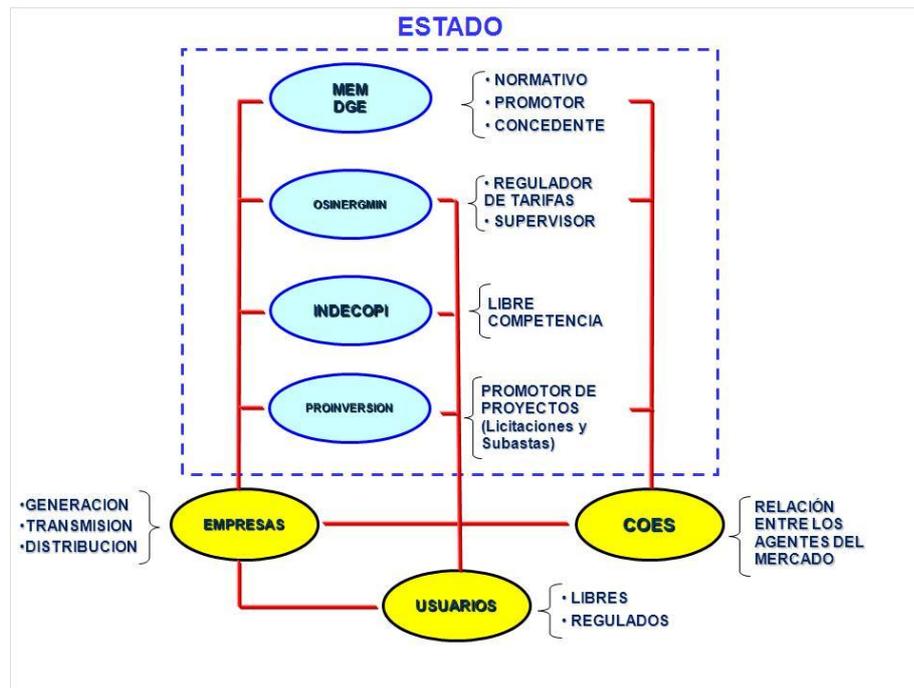
## 2.6. ORGANIZACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO

Figura 2.5: Organización del Sector Eléctrico (Fuente: MINEM)



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Figura 2.6: Actores que intervienen en el mercado eléctrico

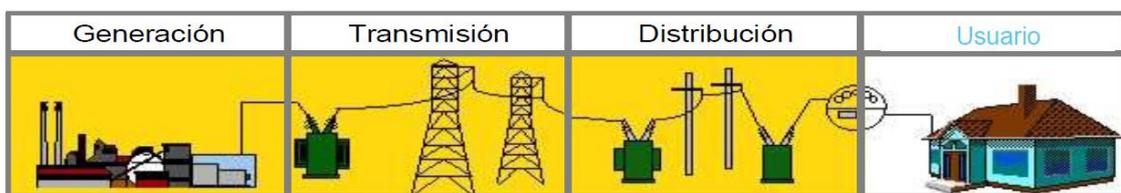


Fuente: Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.1 LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS

Constituidas por las concesionarias de electricidad y las entidades autorizadas que pueden ser: Generadoras, Transmisoras y Distribuidoras.

Figura 2.7: Características de los Agentes del sector eléctrico.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

#### 2.6.1.1 GENERACIÓN

Encargados de producir y planificar la capacidad de abastecimiento de la energía. Es posible introducir competencia gracias al agotamiento temprano de las economías a escala y al avance tecnológico, el cual ha venido reduciendo las barreras a la entrada. Entre las características de la actividad

eléctrica se encuentran la dificultad de almacenamiento, el patrón cambiante de la demanda que se presentan en el día, elevados riesgos operacionales, entre otros.(Pajuelo & Castro, 2004)

#### **2.6.1.2 TRANSMISIÓN**

Esta actividad transfiere la energía eléctrica en niveles de muy alta, alta y media tensión desde las generadoras hasta las distribuidoras a través de largas distancias, lo que involucra fuertes inversiones en infraestructura. El sistema de transmisión comprende los conductores eléctricos que son sostenidos por estructuras de acero, madera o postes y las subestaciones de transformación, las que permiten el transporte y la entrega de energía eléctrica a las distribuidoras.

#### **2.6.1.3 DISTRIBUCIÓN**

Las empresas distribuidoras son las encargadas de llevar la energía eléctrica al usuario final. La distribución y comercialización de la energía se realiza en un ámbito territorial exclusivo, una concesión, en condiciones de monopolio natural. Esta actividad requiere de redes de distribución eléctrica que pueden ser de baja o media tensión, aéreas o subterráneas.

#### **2.6.2 MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM)**

Es el encargado del otorgamiento de concesiones y de la planificación diferencial y tiene también a su cargo funciones normativas. A través de la Dirección General de Electricidad (DGE), el MEM ejerce su potestad para normar y planificar el desarrollo del sector eléctrico, así como la función de otorgar concesiones y autorizaciones para efectuar las diferentes actividades eléctricas.

### **2.6.3 ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA Y MINERÍA (OSINERGMIN)**

Fiscaliza, supervisa y regula las actividades realizadas por el sector eléctrico, es un ente regulador del servicio de energía eléctrica,

### **2.6.4 MARCO LEGAL**

Las principales normas que rigen las actividades del sector eléctrico son las siguientes:

- Ley de Concesiones Eléctricas (LCE) – Decreto Ley N° 25844.
- Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (RLCE).
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rural (NTCSER)
- Código Nacional de Electricidad (CNE)
- R.D. N° 018-2002-EM/DGE

### **2.7 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

Un buen sistema de protección garantizará un buen funcionamiento de los sistemas de distribución secundaria. Si se hace un análisis de los componentes y su correcto dimensionamiento, se podrá realizar los proyectos de redes secundarias, con mejor diseño y en consecuencia las obras de redes secundarias serán más confiables.

## CAPITULO III

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DISEÑO DE LA SUBESTACION

Para la electrificación en zonas de PPJJ o rurales es el país, se utilizan subestaciones de intemperie denominada en monoposte o biposte aérea, por ser económicas y de fácil instalación. El transformador está compuesto de un núcleo magnético cerrado sobre el que se devanan dos o más bobinas de cobre independientes y va sumergido en un tanque lleno de aceite refrigerante y aislante (se promueve en la actualidad los transformadores secos); los conductores se introducen o se sacan a través de aislantes denominados pasatapas; esta conjunto va fijo al poste o en plataforma armada entre dos postes dependiendo de la capacidad del transformador según sea el caso. Los postes pueden ser de madera tratada, hormigón armado o estructuras metálicas (el Comité de Normalización de DGE recomienda postes de concreto armado no menores de 11 m.

Sus elementos adicionales son: seccionadores fusibles y pararrayos (lado de alta tensión), todos unipolares adosados al transformador o montados en una cruceta, según sea conveniente. Los conductores secundarios van provistos de fusibles aéreos solos, si el transformador es monofásico, y si es trifásico llevan un armario metálico o tablero de distribución, en cuyo interior se colocan los fusibles con un interruptor termomagnético tripolar de baja tensión. Finalmente los pararrayos y partes metálicas del transformador se conectan mediante un conductor a un pozo de tierra preparado para este fin.

Las subestaciones monoposte normalizadas, se clasifican como sigue:

- **Monofásica:** Conformada por un transformador monofásico, para alimentar básicamente cargas monofásicas de vivienda.

Figura 3.1 Estación Monoposte.



Elaboración propia

Figura 3.2 Estación Biposte.



Elaboración propia

- **Trifásica:** Conformada por dos transformadores monofásicos, para alimentar cargas monofásicas de vivienda y cargas trifásicas especiales.

Primordialmente las subestaciones deben ser con transformadores monofásicos, pero cuando es necesario alimentar electrobombas o cargas industriales, los transformadores deben ser trifásicos.

### **3.1.1 CONSIDERACIONES PARA UBICAR LA SUBESTACIÓN**

En las zonas rurales de nuestro país, por el parcelamiento en que viven, las viviendas se encuentran diseminadas, por lo que tender una línea de energía eléctrica y sus correspondientes redes de servicio resultan costosas por la gran cantidad de conductores que se utilizan y la elevada potencia que se pierde en el transporte. Por esto, el proyectista debe tener buen criterio y experiencia para la elección y lugar de ubicación de la subestación, debiendo estar dentro de un área cuyo radio abarque la mayor cantidad de viviendas posibles, así como prever en el plano catastral de las zonas de posible extensión urbano equipamiento social.

A continuación, se da algunas consideraciones para la ubicación de la subestación:

1. Tratar que la subestación quede ubicada en el centro de la carga de la zona que le corresponda alimentar.
2. La zona que debe alimentar cada subestación debe ser en lo posible circular.
3. Debe estar cerca de las cargas especiales importantes.
4. Ubicar la subestación de preferencia en avenidas anchas y fácil acceso para su futuro mantenimiento.
5. No ubicar la subestación frente a un lote.

### **3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR**

Para el dimensionamiento de potencia del transformador es necesario tener en cuenta al diagrama de carga diario, adicional y anual, para considerar su incidencia en las características de pérdidas más conveniente para el transformador. Una localidad rural o urbanización nueva, no está provista de estos estudios, porque en su mayoría son energizados por vez primera, lo que

obliga al proyectista a basarse en consideraciones tomadas de la práctica, así mismo también se debe determinar las pérdidas en las líneas por efecto joule y las pérdidas en el fierro y el cobre en el transformador, también denominadas pérdida de potencia por transmisión en el sistema.

En base a lo anterior, se pueden tomar las siguientes consideraciones para determinar los parámetros que afectan a la dimensión de la potencia del transformador:

### **3.2.1 ELECCIÓN DE LA POTENCIA BASE DEL TRANSFORMADOR**

La capacidad de la potencia que debe ser elegida para el transformador de la subestación, está en base principalmente a la demanda de potencia de los usuarios; el cual ha sido determinado previamente por un estudio de máxima demanda, realizando por cualquiera de los métodos de estudio de mercado que existen (Encuestas por ejemplo); y que se realizan juntamente con el proyecto de redes de distribución, determinándose o de uso general y las cargas de alumbrado público. Con lo que obtenemos un valor base inicial de potencia  $S_1$  (KVA).

Para la obtención de este valor se considera un factor de potencia de 0.9 (instalaciones de baja tensión VDE-0641), para redes de instalación aérea (C.N.E. SUMINISTRO).

### **3.2.2 ELECCIÓN DE LA POTENCIA DE SOBRECARGA**

Considerando que la población tendrá un proceso evolutivo, el cual puede o no estar indicado por los índices de crecimiento poblacional, también puede crecer el consumo de energía, como consecuencia de la disponibilidad de energía; por lo que en el diseño se considerará la sobrecarga constante por el crecimiento de la población, variable de acuerdo al consumo diario de los

usuarios; lo cual se preverá para no someter al transformador a trabajos que disminuirán su vida útil.

Para no sobredimensionar el transformador, se propone para el diseño de subestaciones rurales adicionar como máximo un 25% por sobrecarga y futuras ampliaciones. Obteniéndose un valor incrementado de potencia S2, equivalente a un valor:  $1.25 * S1$  (KVA).

### 3.2.3 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDAS

Las pérdidas en el sistema comprenden las pérdidas en las líneas por el efecto Joule y las pérdidas en el hierro y en el cobre del transformador. Debido a las bajas capacidades que se transportan estas no son de gran consideración, por lo que si se considera un 10% de la potencia inicial (S1), garantizamos ampliamente estas pérdidas en el sistema. A esta potencia lo denominaremos: S3, equivalente a un valor:  $1.10 S1$  (KVA).

$$S3 = 1.10 * S1$$

En resumen la potencia del transformador se puede elegir teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1° Se considera como valor base, la potencia obtenida en el estudio de máxima demanda, con un factor potencia de valor 0.9
- 2° Se adicionará un 25% para futuras ampliaciones (sobrecargas).
- 3° Se adicionará un 10% por pérdidas en el sistema.

#### **POTENCIA ELEGIDA DEL TRANSFORMADOR:**

La potencia a elegir se obtiene de la siguiente manera:

$$S \text{ (KVA)} = S1 + S2 + S3 = S1 + 1.25 S1 + 1.1S1$$

$$S \text{ (KVA)} = 1.35 S1$$

Del resultado obtenido (S), se elige el transformador que esté más próximo a los valores de potencia normalizados, teniendo en cuenta que a más potencia el costo también es más elevado.

### **3.2.4 POTENCIAS NORMALIZADAS DE LOS TRANSFORMADORES**

Potencia nominal de transformadores en KVA.

- Monofásico: 5, 10, 15, 25, 37.5, KVA.
- Trifásico : 50, 75, 100, 160, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1100, 1600, KVA.

Algunos fabricantes nacionales como la Brow Boveri y DELCROSA, ofrecen transformadores trifásicos de potencias de 25 y 37.5 KVA también, que son asequibles en medios rurales.

### **3.2.5 POTENCIA NORMALIZADAS DE LOS TRANSFORMADORES**

Para la elección del nivel de tensión en el transformador, no existen reglas fijas, aun cuando se intuye una relación entre estas, las potencias y distancias de energía. Por recomendaciones de la C.E.I. (Comisión Electrotécnica Internacional), los valores de tensiones a elegir están dentro de un número limitado, ya que la tendencia es a no adoptar demasiadas tensiones a fin de no usar una gran cantidad de niveles de aislamiento y equipos, tendiendo a lo posible en la normalización.

En nuestro país el C.N.E. (Código Nacional de Electricidad) indica tensiones normalizadas para los lados de alta (primario) y baja (secundario) tensión del Transformador, para utilizarse en Subsistemas de Distribución Primaria.

### 3.2.6 NIVELES DE TENSIÓN EN EL PRIMARIO

La elección de la tensión en los bornes primarios del transformador, implica la selección del sistema de distribución primaria, por lo que depende de la fuente de suministro que puede ser:

- Central hidroeléctrica
- Central térmica
- Subestación o línea de subtransmisión (Línea primaria).

#### 1° Sistema 10 KV

Sistema aislado (sin neutro); pueden alimentar a localidades que se encuentran en un radio de 10 a 15 Km. con subestaciones predominantemente trifásicas.

#### 2° Sistema 13.2/7.62 KV

Sistema de 4 conductores con neutro multiaterrizado, permite desarrollar redes trifásicas, monofásicas y con retorno total por tierra.

Este sistema tiene gran ventaja en la electrificación rural y en altitud por el bajo costo de las líneas, redes y subestaciones. Así como la reducción del aislamiento.

#### 3° Sistema 22,9/13.2 KV.

Tiene características similares al anterior; nos permite alimentar cargas en un radio de 30 a 50 Km. en forma económica.

El aislamiento reducido por llevar el neutro puesto a tierra nos permite instalaciones hasta los 4000 m.s.n.m. sin pasar de N.A.B. de 150 KV.

#### 4° Sistema 13.2 KV con retorno por tierra.

Es un sistema económico de un sólo conductor, que es utilizado en ampliaciones eléctricas y en instalaciones rurales.

Figura 3.3 Sistema 13.2 Kv con retorno por tierra.



Elaboración propia

También donde la red primaria y secundaria van paralelas se puede utilizar el neutro primario como neutro secundario, ahorrándose el tendido de un conductor.

### 3.2.7 NIVELES DE TENSIÓN EN EL SECUNDARIO

Se elige teniendo en cuenta que las poblaciones rurales o urbanizaciones de pueblos jóvenes son centros de carga iniciales, donde su crecimiento dependerá de las características de la zona, que pueden durar pocos como varios años. A continuación se dan unos criterios para la selección de la tensión en el secundario:

- Tensiones de distribución existentes en la región.
- Rutas de acceso: asfaltadas, afirmadas, remozables, camino de herradura, etc.
- Líneas y servicios de comunicación existentes.
- Dificultades de los hitos, quebradas, zona boscosa o montañosa, terreno portentoso o deleznable.

- Ubicación de cargas importantes.

Estos criterios se toman teniendo en cuenta cual sistema es la alternativa más conveniente para un equipamiento por etapas, y que tenga la flexibilidad de poder convertir en el futuro a un sistema 220 trifásico, ó 380/220 V.

Los sistemas de distribución secundaria normalizados son:

- 1° Sistema 220 V Trifásico, 3 conductores

Es un sistema sin neutro, formado por transformadores trifásicos, utilizado para alimentar cargas trifásicas en áreas industriales y comerciales, cargas monofásicas y trifásicas en áreas residenciales.

Con dos transformadores monofásicos se logra el delta abierto; nos permite alimentar cargas monofásicas conectadas entre el conductor común y las otras dos fases; cargas trifásicas aisladas en zonas residenciales y comerciales.

- 2° Sistema 380/220 V Trifásico, 4 conductores

Este sistema permite un mayor radio de acción que el sistema de 220 V teniendo un conductor neutro que debe estar colocado a tierra al inicio y al final del circuito y a intervalos de 150 a 200 m.

La sección del neutro será igual a una sección menor del conductor de fase.

El conductor neutro puede ser desnudo y en caso de falla no debe superar los 65 V.

- 3° Sistema 220 V monofásico, 2 conductores

Sistema aislado que se logra con un transformador monofásico.

Se emplea para localidades rurales con un radio de acción promedio de 220 m.

#### 4° Sistema 440/220 V monofásico 3 conductores

Este sistema monofásico es el que se viene desarrollando, ya que nos permite un radio de acción de unos 400 m.

El neutro de la red primaria se puede utilizar como neutro de la red secundaria.

El transformador monofásico para 440/220 V es similar el de 220 V, debiendo solicitar que lleve 3 bornes de baja tensión y que sea conmutable de 440/220, de esta manera se puede utilizar en bancos para obtener tensión de 380/220 ó 220 V.

### 3.2.8 TENSIONES NORMALIZADAS EN LOS TRANSFORMADORES

Los siguientes valores en KV, son las tensiones normalizadas para sistemas primarios:

- Tensión nominal en el primario  
Monofásico: 7.62, 13.2, 10, 20 KV  
Trifásico : 13.2/7.62, 22.9/13.2, 10, 20, KV.
- Tensión nominal en el secundario  
Monofásico: 220 ó 440/220 V  
Trifásico : 220 ó 380/220 V
- Tensión en vacío en el secundario  
Monofásico: 230 ó 460/230 V  
Trifásico : 230 ó 380/230 V.

### 3.2.9 POLARIDAD EN EL TRANSFORMADOR

La American Standard Association (A.S.A.), ha adoptado ciertas marcas normalizadas para los terminales en los transformadores de potencia y distribución.

Los terminales de alta tensión estarán rotulados H1 y H2, y los de baja X1, X2, donde H1 y X1 son terminales para los cuales las polaridades de las

tensiones inducidas por el flujo resultante en el núcleo son las mismas, el terminal H1 es positivo respecto al H2, durante el intervalo de tiempo en que el terminal X1 es positivo respecto al H2. Los terminales H1 y X1 son pues de igual polaridad relativa.

La determinación de la polaridad en transformadores es útil para cuando se conectan en paralelo o formando grupos polifásicos, pues las conexiones de los devaneos que deben realizarse con las polaridades relativas iguales.

Las marcas exteriores en los terminales contienen toda la información que requiere el encargado de la línea para conectar correctamente un transformador en su circuito.

- **Polaridad aditiva**

Si se conectan dos terminales opuestos (H2 y X1), y se aplica una excitación (V) entre otros terminales (H1 y X2), la suma de las tensiones (VH) en el lado de alta tensión y la tensión (VX) en los bornes de baja tensión, es aproximadamente igual a la tensión, es aproximadamente igual a la tensión aplicada (V).

$$\text{Osea: } V = V_H + V_X$$

A esta conexión se denomina polaridad externa aditiva.

- **Polaridad Sustractiva**

Si se conectan terminales adyacentes de primaria y secundario (H2 y X2), y se aplica una excitación (V) entre los otros terminales (H1 y X1), la diferencia de la tensión es los bornes de alta (VH), y la tensión de los bornes de baja tensión (VX), es aproximadamente igual a la tensión aplicada (V), es aproximadamente igual a la tensión aplicada (V).

$$\text{Ósea: } V = V_H - V_X$$

A esta conexión se denomina polaridad externa sustractiva.

Para subestaciones con transformadores monofásicos en zonas rurales, el Comité de Normalización de ministerio de energía y minas, recomienda lo siguiente:

#### **Polaridad**

- Aditiva para transformadores monofásicos cuyo bobinado primario sea de 7.62 KV.
- Sustractiva para transformadores monofásicos cuyo bobinado primario sea de 10, 13.2 ó 20 KV.

### **3.2.10 GRUPOS DE CONEXIONES**

Los transformadores monofásicos que se fabrican tienen 2 devaneos de baja tensión en medio de los cuales está ubicado el devaneo de alta tensión. Extrayéndose 4 terminales adyacentes de los dos devaneos de baja, estando dos terminales adyacentes unidos en uno solo, de tal manera que se obtienen 3 bornes o aisladores pasa tapas en el lado secundario (X1, X2, X3), lo que permite obtener los diferentes sistemas de distribución secundaria.

Los esquemas de conexión y su designación, para transformadores monofásicos en zonas rurales, han sido normalizados por el comité de Normalización de DGE, mediante la norma CN-N0-002, en vigencia desde enero de 1998.

Con el incremento de carga en las instalaciones con subestaciones monofásicos, se incrementan también otros transformadores, hasta formas un banco de transformadores, hasta forma un banco de transformadores. Unos transformadores monofásicos, los cuales a su vez pueden hacer grupo de conexión. Estos grupos de conexión se designan por letras que indican la

conexión de los arrollamientos y por una cifra características que indican el desfase entre las tensiones en estrella de los arrollamientos, tomándose como referencia el vector de arrollamiento de tensión superior-

En subsistemas de distribución primaria, se utilizan conexión Estrella – Triángulo (Yd), extendiendo dos formas de cerrar el triángulo y crear los neutros que pueden proporcionar los desfases: +30, -30, +150, -150, siendo respectivamente: Dy11, Yd11, Dy5, Yd5.

Según el C.N.E. Suministro, las unidades de conexión que forman una unidad trifásica son:

Tabla 3.1. Características De Instalación

Denominación de la Conexión	Signo para los devaneos Símbolo	
	Tensión mayor	Tensión menor
TRIÁNGULO	D	a
CONEXIÓN v	V	v
ESTRELLA	Y	y
ZIGZAG	Z	z

Fuente: Código Nacional de Electricidad

En nuestros sistemas generalmente se utilizan las conexiones: Yd 11 ó Yd 5.

Haciéndose el grupo de conexión, de acuerdo al sistema de conexionado en el punto de alimentación.

### 3.3 PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS

Esta protección se realiza con fusibles, que son operados térmicamente, que combinen las funciones de detección de fallas e interrupción de circuitos.

Existen dos tipos de fusibles:

1. Limitadores de corriente
2. Normales o estándar

Los primeros son utilizados en S.E.A. (sub estaciones aéreas) en el lado de alta tensión y los segundos en el lado de baja.

## **Protección en el Primario del Transformador**

La protección en el lado primario o alta tensión del transformador, se realiza con fusibles limitadores de corriente.

### **3.3.1 FUSIBLE LIMITADOR DE CORRIENTE.**

Estos fusibles se denominan limitadores de corriente, porque limitan la intensidad a valores de paso inferiores a la intensidad de reacción de los otros dispositivos de protección antepuestos: Es decir limitan la avería a la parte mínima por desconexión selectiva.

Son fusibles diseñados para aplicaciones sobre los niveles de 600 voltios.

Son dispositivos protectores con un elemento cortocircuito (COTOUT) que es directamente destrozado cuando atraviesa una excesiva corriente a través de él. Son clasificados como fusibles de potencia y fusibles de distribución.

#### **3.3.1.1 FUSIBLES DE POTENCIA**

Consiste en un tubo de porcelana o bakelita, provisto en sus extremos de anillos de latón, los cuales se insertan a contactos elásticos metálicos. Uno o varios hilos pasan por el interior del tubo por tornillos a la armadura metálica. A fin de evitar que los hilos fusibles estén en contacto con el tubo, se hallan recubiertos de un cilindro de amianto, el cual lo protege en el momento de la explosión o la fusión. Al fundirse el fusible, los gases son expelidos con fuerza al exterior por el aire que dilata el arco, los receptáculos también pueden contener una solución para extinguir el arco establecido en el momento de fundirse, o de un polvo extintor incombustible.

Las normas NEMA (National Electric Manufacturers Association), los clasifican como tipo E.

### 3.3.1.2 FUSIBLES DE DISTRIBUCIÓN.

Un cutout de distribución es un dispositivo de desconexión, consistente en un fusible (de cinta) encerrado en un tubo de fibra, el cual está sujeto a unos contactos metálico, uno de los cuales es una articulación; estos están formados de una aleación de berilio y cobre sumergido en estaño caliente, ambos extremos están fijos por ganchos de acero a un aislador de porcelana para su sujeción a la cruceta o al transformador.

Cuando la intensidad que circula por el conductor caliente el fusible y lo funde, el escape único pero los gases que se producen por la ionización del arco; quedando suspendido por la articulación lo que indica que el fusible ha “operado”.

Sus características de identificación son:

1. Corriente nominal o de servicio
2. Nivel de tensión de operación
3. Capacidad de interrupción
4. Resistencia del dieléctrico (Nivel Básico de Aislamiento)

### 3.3.1.3 FUSIBLES DE CINTA (FUSE LINK)

Los fusibles limitadores de corriente tipo cinta, eslabón o chicote, son fusibles de tiempo controlado, lo que quiere decir que se puede regular su operación de acuerdo a una curva Tiempo-Corriente.

Los valores de este curva tiempo-corriente están establecidos dentro o a base de valores estándar.

En 1951 la industria ha estandarizado los niveles de los fusibles de cinta como “K” (rápido) y “T” (lento).

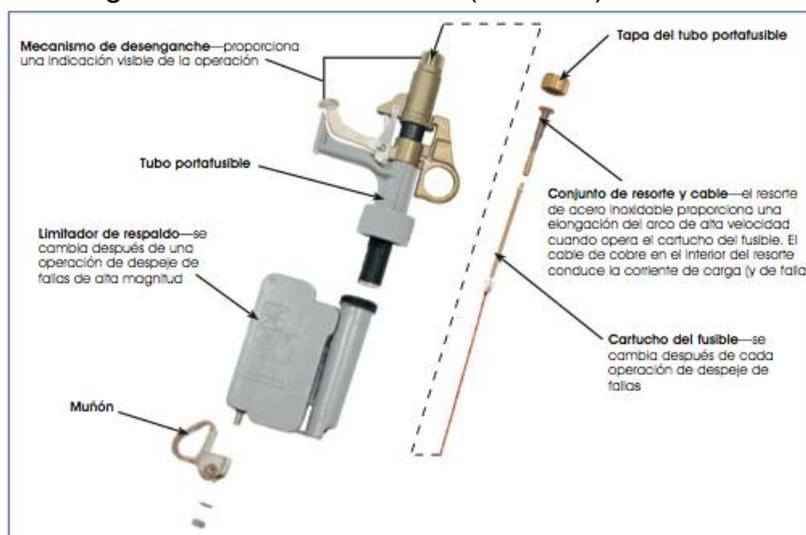
Los fusibles T o K pueden ser fabricados por cualquier industria, de acuerdo a los bosquejos estándar de la junta EEI-NEMA, publicados en NEMA Pub. N° 108-1952 y EEI Pub. N° TDJ-110. Los cuales condicionan las medidas de protección, sus características eléctricas deben reunir un mínimo y máximo de valores de corriente, requeridos para fundir el fusible.

La curvas tiempo-corriente de los fusibles tipo T y K deben cumplir con los siguientes tres puntos de operación para fundir el fusible.

1. Un tiempo de 300 seg. para un nivel de 100 o menor de 100 amperios.  
600 seg. para un nivel o corriente nominal de 140 y 200 amperios.

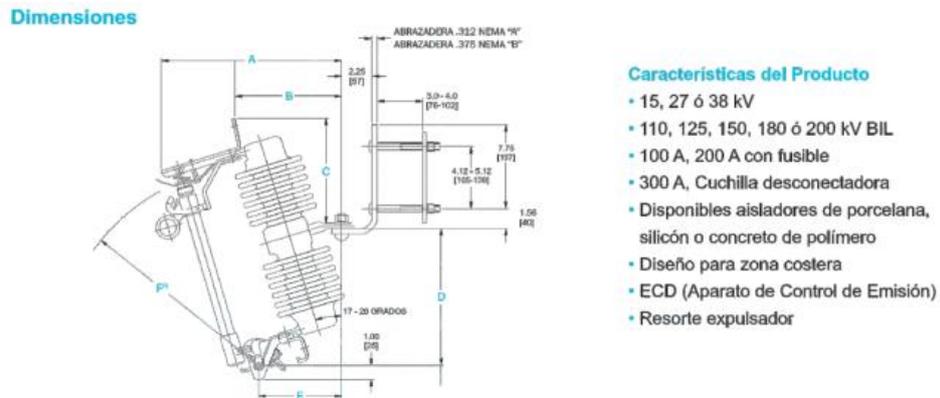
Además, deben transportar la corriente nominal indefinidamente sin quemarse o deteriorarse y su fundición debe ser a no menos del 230% de su capacidad nominal de operación en un tiempo de no mayor a los 5 (300 s.) ó 10 minutos.

Figura 3.4 Fusible de cinta (fuse link)



Fuente: catalogo DRIESCHER Y WITTJOHANN, S.A. MEDIUM VOLTAGE SOLUTIONS

Figura 3.5 Fusible tipo CUT OUT



COD PROM	Clase (kV)	BIL (kV)	Dimensiones de la Unidad (mm)						Distancia de fuga - porcelana (mm)	Peso de porcelana (Kg)	Distancia de fuga - silicón (mm)	Peso de silicón (Kg)
			A	B	C	D	E	F <sup>m</sup>				
26304116	15	110	325	186	165	217	168	290	231	6.4	380	4.2
26304118	27	125	338	199	208	260	154	378	325	9.0	480	4.3
26304117	27 ó 38	150	338	199	208	260	154	378	432	12.0	480	4.6
26304119	27 ó 38	150	338	199	208	260	154	378	-	-	599	4.8
26304120	27 ó 38	170	356	216	265	330	134	488	665	16.1	-	-

Fuente: catálogo de Código Elemsa y características de los eslabones fusibles

### 3.3.1.4 LOS FUSIBLES CUTOOUT DE TIPO ABIERTO.

Están diseñados para sistemas de distribución y/o instalaciones industriales.

- **GARANTIA**

Todos los fusibles COTOOUT están diseñados para ser utilizados varios años, y tienen alto nivel de confiabilidad.

- **ALTA CALIDAD**

Tienen una alta calidad, por el control de la arcilla para la porcelana del ensamblado final.

- **INTERRUPCIÓN POSITIVA**

La interrupción es segura y eficiente para la mínima o máxima falla del fusible, con el sistema o Tipo “Drop out”, de retiro por efecto del fusible.

- **APARIENCIA**

Los cutout Tipo “retiro” (Drop out Type) o de disparo directo, están diseñados para el requerimiento diario del medio ambiente. Colores de porcelana seleccionada, de color marrón.

Tabla 3.2. Características Estándar

TIPO	SW-1		SW-2	
Corriente continua (A)	100		100	
Tensión nominal (KV)	7.2	-14.4	25	
Máxima Tensión (KV)	7.8	-15	27	
Frecuencia (Hz)	50	-60		
Capacidad de Interrupción				
I asimétrica r.m.s. (A)	8000, 10000		3000	6000
TENSIONES DE PRUEBA				
En seco durante 1 minuto (KV)	35		42	
Húmedo durante 10 seg. (KV)	30		36	
B.I.L (KV)	95		125	

Fuente: Catalogo de transformadores promelsa

## DESCRIPCION DEL COMPONENTE

### CONTACTOS

Los contactos de sujeción, o bases de bisagras, están formándose una aleación de berilio y cobre (beriliun cooper) sumergido en estaño caliente, lo cual es bañado con plata, teniendo un acabado final de cobre plateado.

### PROTECCIÓN A LA CORROSIÓN

Se han tomado pasos preventivos electrolíticos, contra los efectos corrosivos del aluminio y el cobre (de los conductores). Un agente especial inhibidor es aplicado entre los terminales de sujeción y los terminales de bisagra, así también en las hojas de contacto y en las superficies de montaje de los terminales. Los otros elementos de los terminales, también son sumergidos en estaño caliente.

## TERMINALES

El cotout lleva un terminal plano de almohadillas, con un canal paralelo a un conector de grapa.

## TIPOS: TAPA EXPULSIÓN O ESCAPE UNICO

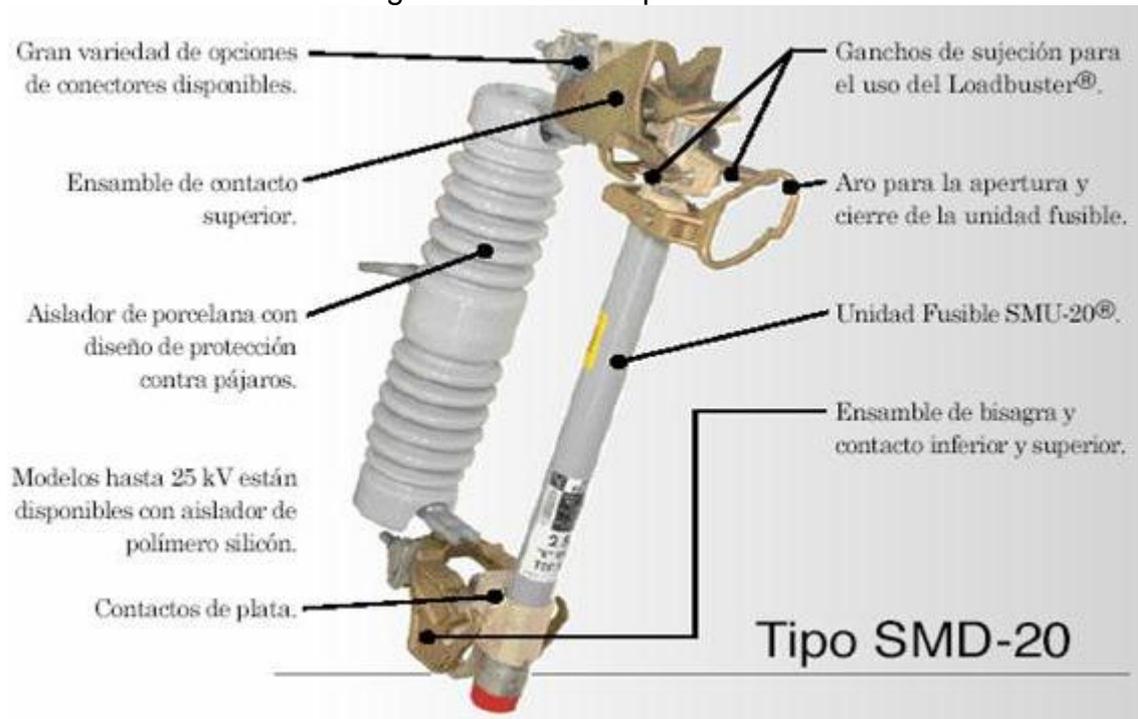
Este tipo es disponible par de fusibles de escape único, donde anticipadamente se sabe que las fallas son de baja capacidad el fusible expulsa un botón, que constituye el escape único por uno de sus extremos para los gases durante su operación. Cuando las fallas son de gran magnitud, expele un disco (en el de 1 tipo tapa de expulsión o extendible), entonces una nueva tapa con su disco debe ser instalado. Estos son disponibles en las factorías a un bajo costo nominal.

## PRUEBAS

Este tipo ha sido sujeto a varias pruebas eléctricas y mecánicas, incluyendo pruebas de corrosión en cámaras de sal.

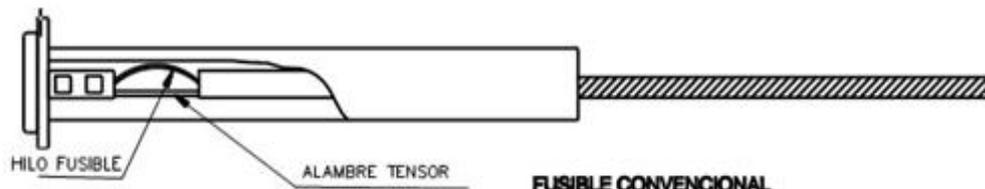
3.3.1.5 FUSIBLE DE CINTA O TIPO CHICOTE (FUSE LINK)

Figura 3.6 Fusible tipo Chicote



Fuente catálogo de Enel condesa

Figura 3.7 Características de Fusible Convencional



**FUSIBLE CONVENCIONAL**

SIMBOLO	REFERENCIA	CODIGO DE ALMACEN	CAPACIDAD NOMINAL DEL TRANSFORMADOR A PROTEGER EN kVA		
			MONOFASICO A 7650V	MONOFASICO A 11.400 Y 13.200V	TRIFASICO A 11.400 Y 13.200V
f 4'	2H		5	5	
f 5'	3H	1330949	10	10-15	15
f 6	5H		15	25	30-45
f 7	8H	1330008	25	30-37.5	
f 8	25H	1330011	30-37.5	50	75
f 9	50H	1330070	50		112.5
f 10	50H	1330020			150
f 11	30K	1330991			225
f 12	40K	1330035			300
f 13	65K				500
f 14	100K	1330997			800
f 15	25K	1330984	PROTECCIÓN CONDENSADORES 3X200 kVAr		
f 17	30T		PARA PROTECCIÓN DE DERIVACIONES MENORES DE 1.000 kVA		
f 18	50T				
f 19	80T				

Fuente catálogo de Enel condesa

### **3.3.1.6 FUSIBLES DE HILO PARA BAJA Y MEDIA TENSIÓN TIPO H, K, T Y DUAL**

#### **3.3.1.6.1 FUSIBLE TIPO CHICOTE**

La función primaria de todos estos fusibles es cumplir o ejecutar de acuerdo a lo establecido en las curvas: Tiempo-Corriente.

#### **3.3.1.6.2 FUSE LINK**

La función fundamental de algunos fusibles tipo chicote (fuse link) es la de ejecutar en conformidad con curvas de Tiempo-Corriente, establecidas y la de mantener una completa precisión en el tiempo de fundición, antes que sucedan excesivas corrientes de cortocircuito. Adicionalmente, debe operar fijamente o confiablemente dentro de un rango de valores de corriente bastante alto, de modo que se funda el fusible en un valor igual a la capacidad de interrupción del cotout cuando este esté funcionando.

El Fuse LINKS, reúne estos requerimientos:

Una importante consideración incorporada en estos fusibles, es la capacidad de resistir corrientes de sobrecarga sin sufrir daño. El elemento en la función corriente-repuesta, está sometido a una gran fuerza de tensión corriente-respuesta, está sometido a una gran fuerza de tensión, y a la temperatura o calor de los conductores, sin embargo ellos no se alargan ni se encogerán a valores de corriente nominales. Estos fusibles operan a temperaturas sin riesgo de entrar en su “char zone” o zona fundición, por las paredes especiales del tubo del fusible. En caso de corrientes de sobrecarga, después de un periodo “largo” de tiempo, el calor es conducido a la aleación especial del fusible, lo cual fundirá al fusible a una relativa baja temperatura.

Dado que un gran porcentaje de fallas en los sistemas de distribución son de relativa baja magnitud, estos fusibles son diseñados para una ejecución segura en caso de estas molestias, limitando las condiciones de falla.

La construcción estandarizada de estos fusibles, incorpora una presentación plateada en todo su largo, alto esfuerzo en sus hilos trenzados y su flexibilidad extra, contribuye a la unión de cables. Estos fusibles son mecánicamente fuertes, más resistente a la corrosión y más seguridad que antes.

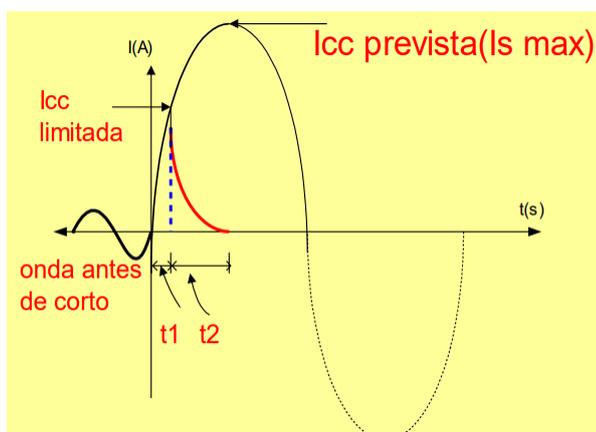
Este fusible es del tipo universal de distribución, y están descritos y manufacturados de acuerdo con la publicación SG2-1954, parágrafo SG24.11 de NEMA. Este fusible universal, su descripción y construcción mecánica es general.

Estos fusibles universales son suministrados con una cabeza de botón para la instalación inicial, en UNICO ESCAPE, ESCAPE CONTROLADO, o cutout (load break) cortocircuito.

#### **CURVAS CARACTERÍSTICAS TIEMPO-CORRIENTE**

La curva simplificada de tiempo-corriente (fig 12.) ilustra la relativa velocidad de fusible tipo K.

Figura 3.8 t1 : Pre arcing, t2 : Arcing

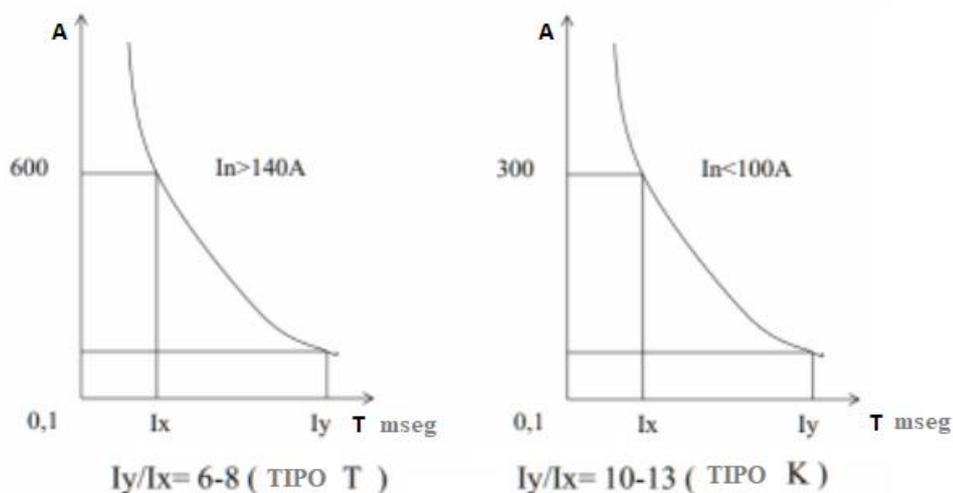


Fuente: osinergmin orienta

$T = t1 + t2$  tiempo total de aclaración aprox. 1/4 de ciclo(5ms)

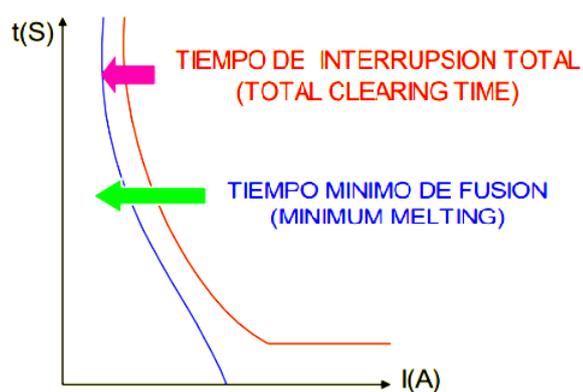
RELACION DE RAPIDEZ

Figura 3.9. Relación de rapidez del fusible tipo T y tipo K



Fuente : osinergmin orienta

Figura 3.10. Curvas de cálculo fusibles tipo K



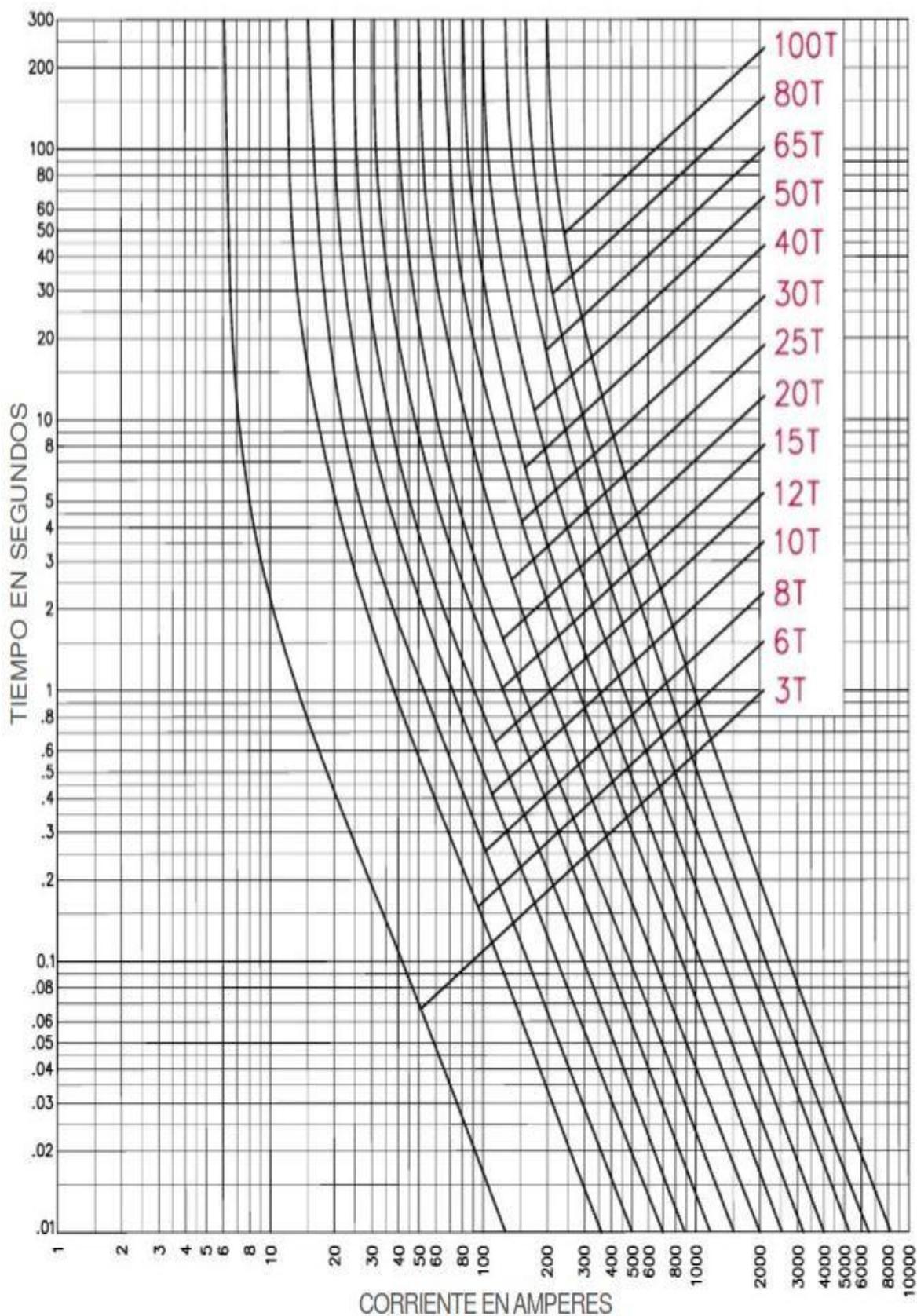
Fuente : osinergmin orienta

Su "rapidez" está definida por la razón de la corriente de fundición de 0.1 seg., donde el fusible tipo K, es que requieren o deben llevar la corriente nominal indefinidamente sin quemarse o deteriorarse, y su fundición debe ser aproximadamente a los 300 seg. y al 220% de su capacidad nominal.

FUSIBLE TIPO T, TABLA DE CÁLCULO: -Tipo T respuesta lenta

Figura 3.11 Fusible Tipo T respuesta (Lento)

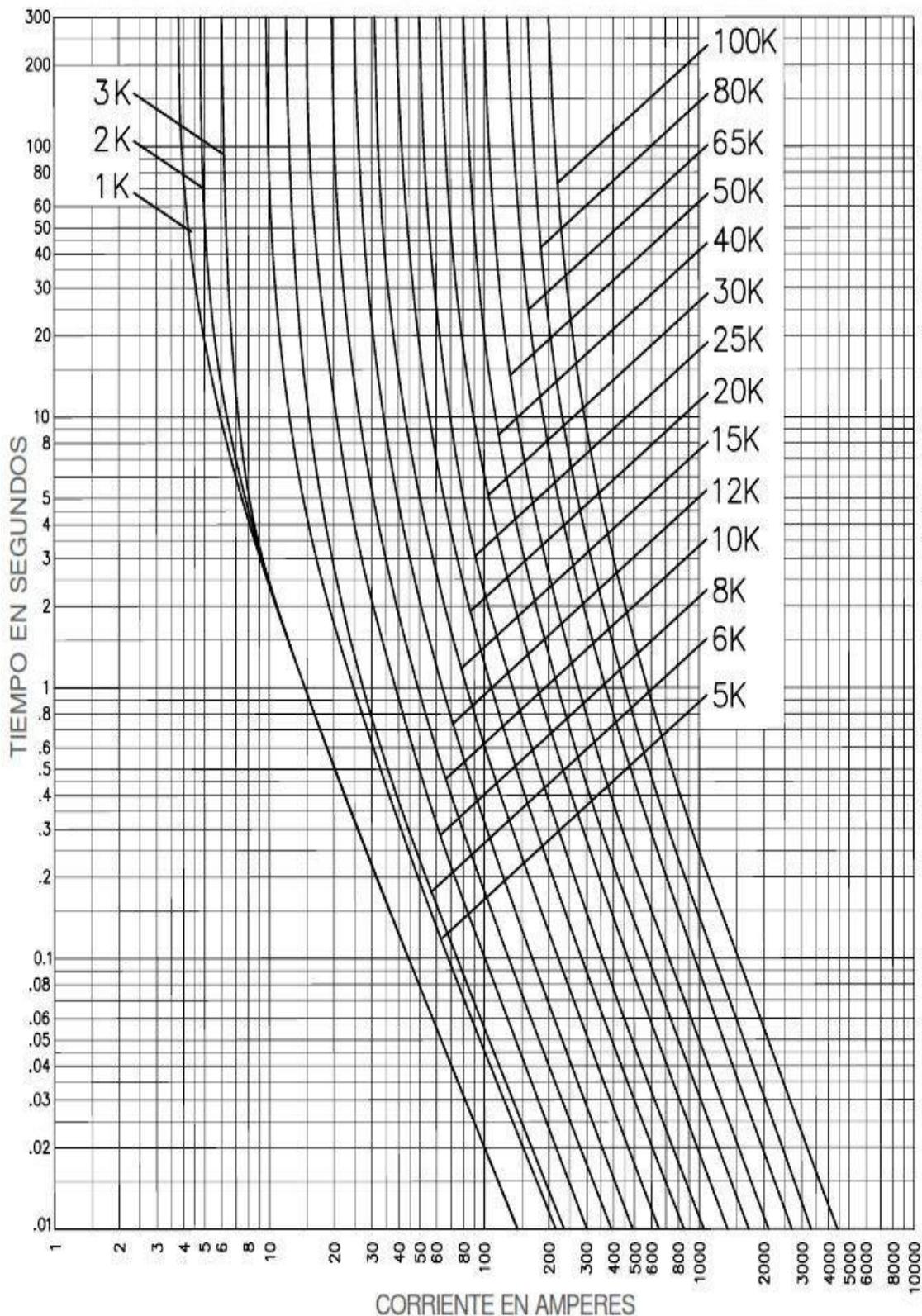
CURVAS CORRESPONDIENTES A LOS TIEMPOS MÍNIMOS DE FUSIÓN CON VARIACIONES POSITIVAS EN CORRIENTE



Fuente: catalogo Cooper Bussmann

Figura 3.12 Elemento Fusible "K" (Rápido)

CURVAS CORRESPONDIENTES A LOS TIEMPOS MÍNIMOS DE FUSIÓN CON VARIACIONES POSITIVAS EN CORRIENTE



Fuente: catalogo Cooper Bussmann

Son aquellos cuya velocidad de fusión se encuentra en el rango de 10 a 13 y su capacidad de conducción de corriente nominal va de 6 hasta 200 a en valor eficaz.

**ELEMENTO FUSIBLE “K” (RÁPIDO)**

A estos elementos fusibles se les conoce como rápidos porque tienen una velocidad de fusión que va de 6 a 8.1; teniendo una capacidad de conducción de corriente nominal que está comprendida en el rango de 6 a 200 A. en valor eficaz.

**3.3.2 ALTITUD MÁXIMA DE INSTALACIÓN DE LOS SECCIONADORES FUSIBLES (CUTOUT)**

Los seccionadores fusibles tipo COTOUT, más usados en las áreas rurales, son los de aislamiento de porcelana por ser más resistentes a las condiciones de operación.

Las altitudes máximas de instalación en función del Nivel de Aislamiento Básico (NAB), debiendo verificarse la longitud de fuga del equipo.

Tabla 3.3. Los Seccionadores Fusibles

SECCIÓN FUSIBLE		TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA KV		
Tensión nominal KV	NAB KV	10	13.2/7.6	22.9/13.2
7.8/15	95	3000	3000	---
15	110	4500	4500	1000
15/27	125			2100
27/38	150			3900

Fuente: catálogos Enel Condensa

### 3.3.2.1 ELECCIÓN DEL SECCIONADOR TIPO FUSIBLE CUT-OUT

En un estudio de los Sistemas de Protección de las subestaciones de Distribución, realizado por ELECTROLIMA, y presentado el 13 de julio de 1981, a el VI CONIMERA, se determinó que las características Tiempo-corriente, de los fusibles de una misma capacidad y de diferentes marcas, diferían en algunos casos en forma notoria de acuerdo al Tipo. Por tanto, se recomienda utilizar únicamente un solo tipo de fusible de todas las marcas. De esta manera, en cualquier marca de fusibles la capacidad requerida tendrá la misma característica de Tiempo-corriente.

Se propone utilizar únicamente el fusible normalizado Tipo “K”, porque permite una buena coordinación, en líneas cortas de los Subsistemas de Distribución Primaria, por su operación más rápida que los fusibles tipo “T”.

Para su elección se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La corriente nominal en el Primario del transformador.
- La corriente o intensidad de sobrecarga
- La corriente de inserción del transformador
- La corriente de cortocircuito.

### 3.3.2.2 CALCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL EN EL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR ( $I_p$ ).

a) Sistema trifásico

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} v}; A \quad (3.1)$$

b) Sistema monofásico

$$I_p = \frac{S}{V}; A \quad (3.2)$$

Donde:

S = Es la potencia del transformador en KVA

V= Es la tensión del sistema en KV

### 3.3.2.3 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SOBRECARGA ( $I_{sp}$ )

El C.N.E. aconseja no sobrecargar el transformador, más del 50% de su capacidad nominal. Los fabricantes previendo esta posibilidad, diseñan los transformadores con un coeficiente de seguridad, lo cual es indicado en la información de venta del mismo.

$$I_{sp} = 1.5 I_p ; A \quad (3.3)$$

### 3.3.2.4 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE INSERCIÓN ( $I_{ns}$ )

Es la corriente inicial o de magnetización que requiere el transformador. Se debe prever que el fusible no opere, durante la energización del sistema o después de algún corte por mantenimiento o por falla, debido a la corriente de inserción del transformador, al respecto la Normas C.E.I. 76 y la Normas NTP 370.002, señalan:

- La corriente de inserción equivalente a 12 veces la corriente nominal, no debe ocasionar la fundición del fusible, en un lapso mínimo de 0.1 segundo.

De donde se tiene:

$$I_{ns} = 12 I_p ; A \quad (3.4)$$

### 3.3.2.5 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ( $I_{cc}$ ).

Las sobrecorrientes se producen por cortocircuitos en la línea primaria, siendo la más severa una falla trifásica, o un cortocircuito entre espiras del transformador, lo que ocasione la fundición del fusible por una elevación brusca del fusible por una elevación brusca de temperatura.

La velocidad de respuesta de los fusibles, deben considerar faltas momentáneas o subidas bruscas durante el tiempo de clarificación de una falla por otro elemento coordinado de protección, por lo que los transformadores deben estar diseñados y construidos para resistir sin peligro los efectos de las sobrecorrientes ocasionados por cortocircuitos en un cierto tiempo.

Las normas C.E.I. 76 y las Normas NTP 370.002, señalan al respecto:

La capacidad máxima del transformador a los efectos térmicos de una corriente de cortocircuito de 20 veces la corriente nominal, debe tener una duración máxima permisible de 2 seg.

Entonces:

$$I_{cc} = 20 I_p; A \quad (3.5)$$

#### **FORMA DE SELECCIONAR EL FUSIBLE DE A.T.**

Una vez obtenidas las corrientes requeridas para la selección del fusible, como son: Corriente nominal en el primario ( $I_p$ ), corriente de sobrecarga ( $I_{sp}$ ), corriente de inserción ( $I_{ns}$ ) y la corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ), se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. En las curvas características de los fusibles (fusible Tipo "K" rápido, en este caso), se ubica el punto correspondiente a la corriente de inserción  $I_{ns}$ , para un tiempo de 0.1 seg. indicando el rango mínimo de valores de la capacidad del fusible en las curvas de Tiempo mínimo de fusión.
2. El valor correspondiente a la corriente de cortocircuito ( $20 I_n$ ), y para un tiempo de 0.2 seg. es ubicado en la curva de APERTURA TOTAL,

- o Tiempo máximo de corte. Indica el margen superior o máximo de la capacidad del fusible.
3. Ubicados los puntos anteriores, obtendremos un rango de valores entre un mínimo y máximo valor. Indica que todos los valores de estos fusibles cumplen con las condiciones prescritas. De los cuales se debe elegir el más adecuado, tomando en cuenta con dos aspectos: Técnico y Económico.
  4. Técnicamente se elige el fusible, en base a la corriente de sobrecarga (Isp), teniendo que garantizarnos que cuando este llegue a su máxima sobrecarga de funda.
  5. Económicamente, se elige el más rentable, sabiendo que a más capacidad, el costo es más elevado. Existiendo en el mercado de valores de capacidad de fusibles fijos, se debe recomendar el más cercano al valor que requerimos.

#### **CONSIDERACIÓN IMPORTANTE**

Algunos proyectistas, hacen la coordinación de protección entre este fusible cutout de A.T. y los interruptores termo magnéticos de B.T. pues Cutout es el respaldo del interruptor contra sobrecargas. En redes rurales, no es necesario, porque el interruptor siempre operará antes, dadas las características de los cutout, cuyo tiempo de fundición por sobrecarga es a los cinco minutos. En el caso desfavorable que no opere el interruptor, entonces operará el cutout, resguardando la vida útil del transformador.

Cuando la frecuencia de las fallas es alta, lo que implica un cambio continuo de fusibles; estos se respaldan con interruptores

termomagnéticos, los que además nos brindan mayor confiabilidad en la protección de las redes de distribución.

### 3.3.3 FUSIBLES NORMALES O ESTANDAR

Estos fusibles son aleaciones que se funden a temperaturas variables entre 60°C y 200°C estas aleaciones están hechas en base a Bismuto, cadmio, estaño, plomo.

Según la norma VDE 0636, clasifican según su forma y sus características de funcionamiento.

Por su forma puede ser:

- Fusibles cortocircuitos de rosca (Sistema D y DO).
- Fusibles cortocircuitos de cuchilla (Sistema NH).
- El sistema D y DO, es apropiado para instalaciones industriales y domésticas. Su capacidad de ruptura nominal de un fusible D es de 50 KA, y un voltaje de 500 v.; de un DO es de 25 KA y un voltaje de 400 V.
- Los FUSIBLES DE CONTACTOS DE CUCHILLA, son compuestos por un bloque de porcelana, en cuyo interior se halla el elemento fusible (hilo o lámina metálica), y unos contactos metálicos anticorrosivos en sus extremos que se embonan a una base porta fusible.
- El sistema de baja tensión y gran capacidad de ruptura, usualmente llamado por sus iniciales alemanas o inglesas:
- NH (Niederspannungs - Hochleistung) o HRC (High Rupturing Capacity).

- Se compone del zócalo y del cartucho fusible y puede actuar como seccionador-fusible en tableros de control.
- Su capacidad de ruptura mínima es de 50 KA. a un voltaje máximo de 500 v. en A.C.

Intensidades Nominales de los fusibles:

6, 10, 16, 25, 35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1250 A.

Según DIN 43620, las bases o porta fusibles pueden ser manufacturados en tres tamaños (dimensiones internacionales): 00, 1, 2, 3, y tamaños opcionales 4 y 4<sup>a</sup> construidas para un voltaje de 660 v.

Tabla 3.4. Capacidad de Ruptura del Fusible

CLASE	CAPACIDAD DE CORRIENTE (A)	CAPACIDAD DE RUPTURA (KA)
00	100 a 160	20
1	250	40
2	400	60
3	630	80

Fuente: Catálogos SASSIN INTERNATIONAL ELECTRIC

Estas bases pueden ser unipolares, bipolares o tripolares.

Los principales tipos de fusibles normales son:

A: Fusible tipo tapón (de rosca)

Figura 3.13 Fusible tipo tapón (de rosca)



Fuente: catálogos siemens

B: Fusible tipo cartucho con contactos ferrules

Figura 3.14 Fusible tipo cartucho con contactos ferrules



Fuente: Catálogos Littelfuse

C: Fusible tipo cartucho con contactos de cuchilla.

Figura 3.15 Fusible tipo cartucho con contactos de cuchilla



Fuente: Catálogos Ferraz Shawmut

Según la norma VDE0636, se clasifican según su forma y sus características de funcionamiento.

Por su forma pueden ser:

- Fusibles cortocircuitos de rosca (sistema D y DO)

Figura 3.16 Fusibles cortocircuitos de rosca (sistema D y DO)



Fuente Catálogos Maresa

- Fusibles cortocircuitos de cuchilla (sistema NH)

Figura 3.17 Fusibles cortocircuitos de cuchilla (sistema NH)



Fuente: Catálogos DF Electric

Por sus características de funcionamiento pueden ser:

Por la clase de función:

Fusibles de campo general. Soportan continuamente intensidades hasta como mínimo su intensidad nominal y pueden desconectar corrientes desde la intensidad mínima de fusión hasta la capacidad nominal de ruptura.

- Clase de función a: Fusibles de campo parcial. Soportan continuamente intensidades hasta como mínimo su intensidad nominal solo pueden desconectar corrientes a un determinado múltiplo de su intensidad nominal.

Por la clase de servicio:

De acuerdo a las exigencias de ciertos aparatos y también en unión de la clase de función. Si:

L: Protección de cables y líneas

S: Protección de aparatos de maniobra.

R: Protección de rectificadores semiconductores.

M: Protección de instalaciones mineras.

Se obtienen las siguientes clases de servicio:

gL: Protección de campo total de cables y líneas.

aS: Protección de campo parcial de aparatos de maniobra.

aR: gR. Protección de campo total o parcial de rectificadores de semiconductores.

gM: Protección de campo total de instalaciones de minería.

Por recomendaciones de IEC 269, en S.E.A. se utiliza el modelo gL.

### **3.3.3.1 LOS FUSIBLES DE CONTACTOS DE CUCHILLA.**

Están compuestos por un bloque de porcelana, cuyo interior se halla el elemento fusible constituido por un hilo o una lámina metálica, unidos a sus extremos lleva unos contactos metálicos (de lámina gruesa) anticorrosivos que se embonan en una base portafusible.

El sistema de baja tensión y gran capacidad de ruptura, usualmente llamado por sus iniciales alemanas o inglesas: NH (Niederspannunga-Hochleistungs) o HRC (High Rupturing Capacity), se compone del zócalo o cartucho fusible, y puede actuar como seccionador-fusible en tableros de control.

Figura 3.18 Los fusibles de contactos de cuchilla.



Fuente: Catálogos DF Electric

Su capacidad de ruptura mínima es de 50 KA a un voltaje máximo de 500 v. en A.C.

Intensidades Nominales de los Fusibles:

6, 10, 16, 20, 25, 35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1250 A.

Por sus características de funcionamiento pueden ser:

Por su clase de servicio:

Está determinado por su comportamiento tipo-intensidad. Si:

L: Protección de cables y líneas

S: Protección de aparatos de maniobra.

R: Protección de rectificadores de semiconductores.

M: Protección de instalaciones mineras.

Se obtienen las siguientes clases de servicio:

**3.3.3.2 FUSIBLES DE BAJO VOLTAJE CON ALTA CAPACIDAD DE RUPTURA CON CONTACTOS DE CUCHILLA.**

Para 500 v. en corriente alterna y según las normas DIN 43620 y VDE 0660, VDE 0636 e IEC pub. 269.

Tabla 3.5. Corriente Nominal para Fusibles de Cuchilla

Art. N°	Corriente Nominal	Base/tamaño o para Fu. NH	Pruebas Descripción		
006	6	00	D, CH	3	16

Fuente: Catálogos SASSIN INTERNATIONAL ELECTRIC

NH: Niederspannungs-Hochleistunga

D: Pruebas según normas VDE

CH: Descripción de acuerdo a las publicaciones SEV 1066, 1977 (Siemens). Además, puede haber otros tipos a pedido.

Los fusibles de baja tensión y gran capacidad de ruptura, usualmente llamados HRC-fuses (fusibles NH), son principalmente usados de protección de líneas y cables, caracterizado dentro de la forma abreviada gL de acuerdo a la norma VDE 0636.

Al mismo tiempo estos fusibles corresponden al modelo gl de acuerdo a las recomendaciones de IEC 269, recomendables para la protección de sobrecarga y cortocircuitos.

El fusible HRC corresponde a DIN 43620 y puede ser insertado dentro de las bases para fusibles HRC medianos desmontables.

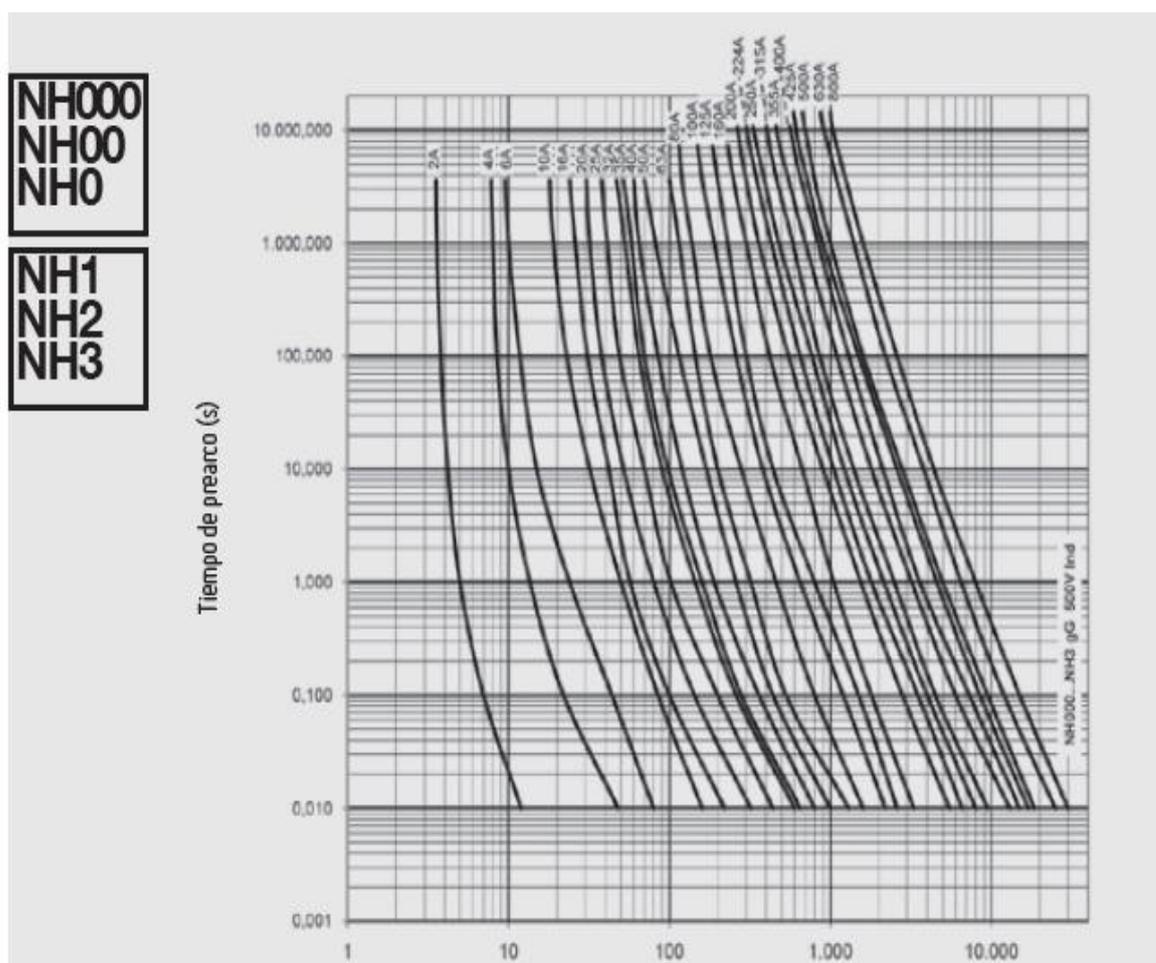
Capacidad de interrupción.

Corriente de limitación.

Los fusibles de servicio clase gl formalmente (cutout), abren el circuito a una pequeña corriente de fusión, encima del porcentaje de interrupción de corriente. El diagrama muestra la corriente  $I_d$  de los fusibles tipo NH (no se cuenta con este diagrama),  $I_k$  y la tensión a un punto fijo sobre los 200 KA. La máxima tensión de interrupción es de 1.9 KV con una tensión de servicio de 550 v.

Los fusibles NH, tienen una gran resistencia al envejecimiento, pueden soportar corrientes de sobrecarga hasta un 15% sobre el porcentaje de corriente, sin producirse envejecimiento en el alambre fusible que pueda acortar su vida útil.

Figura 3.19 Curvas de Fusible BT NH.



Fuente: Catálogos DF Electric

Figura 3.20 Curvas de Fusible BT NH.

HRC fuse links, gG, general application OFAF\_H\_, \_<500V

NH-size	Rated voltage AC / DC	Rated current	Power loss	Type code	Order code	Delivery batch	Weight
		In A	Ph W			pcs	kg
000	500V / 250V	2	1.9	OFAF000H2	15CA022627R0230	9	0.12
		4	1.5	OFAF000H4	15CA022627R0310	9	0.12
		6	1.6	OFAF000H6	15CA022627R0400	9	0.12
		10	1.1	OFAF000H10	15CA022627R0580	9	0.12
		16	1.8	OFAF000H16	15CA022627R0660	9	0.12
		20	2.3	OFAF000H20	15CA022627R0740	9	0.12
		25	2.4	OFAF000H25	15CA022627R0820	9	0.12
		32	3.1	OFAF000H32	15CA022627R0910	9	0.12
		35	3.0	OFAF000H35	15CA022627R1040	9	0.12
		40	3.7	OFAF000H40	15CA022627R1120	9	0.12
		50	4.1	OFAF000H50	15CA022627R1210	9	0.12
		63	5.4	OFAF000H63	15CA022627R1390	9	0.12
		80	6.5	OFAF000H80	15CA022627R1470	9	0.12
		100	7.5	OFAF000H100	15CA022627R1550	9	0.12
		00	500V / 250V	125	10	OFAF000H125	15CA022627R1630
160	11.3			OFAF000H160	15CA022627R1710	3	0.18

Fuente: Catálogos DF Electric

### **3.3.4 INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS.**

Son dispositivos hechos para interrumpir circuitos en condiciones normales o anormales de operación mediante contactos separables. Condiciones normales en cuanto la corriente interrumpida no excede la nominal del interruptor. Si la corriente interrumpida no es la nominal, entonces se define como condición normal.

Se clasifican en interruptores termomagnéticos de potencia y de Baja tensión.

Interruptores termomagnéticos de potencia

Estos interruptores están diseñados para operar en circuitos de corriente alterna con niveles de tensión sobre los 1500 vol.

Interruptores termomagnéticos de baja tensión

Son diseñados para interrumpir corrientes en circuitos de corriente alterna, que operen con una tensión máxima de 660 vol.

Se fabrican de manera que su mecanismo no quede expuesto al medio ambiente.

#### **3.3.4.1 INTERRUPTOR DE BAJA TENSIÓN EN CAJA COMPACTA (MOLDED CASE).**

Es una unidad integral, el soporte y la caja que encierra al interruptor, esta caja que encierra al interruptor, es de un material de aislamiento, diseñado para la protección de sus circuitos.

Figura 3.21 Interruptor de baja tensión en caja compacta



Fuente: Catalogos de Siemens

Está provisto de un circuito dual de protección, un elemento térmico de protección contra sobrecargas, de acuerdo a una operación de tipo inverso y un elemento magnético que opera instantáneamente cuando existe el peligro de fallas de alta corriente.

Los tres principales elementos de un interruptor son:

La unidad de disparo.

El mecanismo de conmutación.

La cámara de interrupción

La unidad de disparo está constituido por un mecanismo que actúa de acuerdo a una señal del elemento técnico o el elemento magnético, haciendo que se aperturen los contactos con un movimiento brusco o de “disparo” colocando al “switch” en una posición neutra, señalando claramente la intervención del elemento de disparo.

El mecanismo de conmutación está ligado a la unidad de disparo, cuando este a actuado da la alternativa de apertura o recierre, lo que se realiza manualmente con la llave de maniobra colocándole en el extremo ON abierto u OFF cerrado.

La cámara de interrupción es del tipo de apagado de arco “De-ion”. Este dispositivo consiste en platos paralelos de acero parcialmente alrededor de los contactos y encerrado por una fibra cubierta o soportes de cerámica.

Cuando los contactos empiezan a abrirse, se induce un campo magnético en los platos. Este campo atrae el arco de los contactos hacia los platos y rompiéndolo en pequeños arcos. Estas dos acciones de la cámara “De-ion” hacen una rápida desionización del arco con ayuda de los dieléctricos de los contactos.

#### **3.3.4.2 CARACTERÍSTICAS:**

Tiene diversidad de utilidades en uso de servicio particular y en plantas industriales.

Dimensiones pequeñas.

Su operación es independiente, pudiéndose hacer una operación manual.

Imposibilidad de funcionamiento en una sola fase, cuando una sola fase del circuito sufre un cortocircuito, los tres polos actúan simultáneamente abriendo el interruptor.

Seguridad de servicio para las partes que operan bajo tensión.

Construcción robusta, la caja es de un material aislante de elevada resistencia mecánica y bajo higroscopía.

Amplia gama de aplicaciones, tiene gran versatilidad en el campo de la técnica de las instalaciones de baja tensión.

Indicación segura de la posición abierto ON o cerrado OFF.

### 3.3.4.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Número de polos, pueden obtenerse en 2, 3, 4, polos lo que permite hacer instalaciones en monofásico, trifásico e instalaciones 340/220 v.

El dispositivo térmico se puede ajustar a un tiempo de disparo.

El dispositivo magnético se puede ajustar instantáneamente o a diferentes rangos de corriente.

NEMA standars, establece el interruptor AB, en tres diseños básicos con los niveles máximos siguientes:

De 240 a 600 v. en A.C. y un máximo de interrupción de 6 a 50 KA

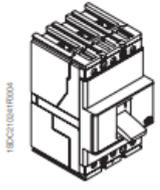
Se fabrican los modelos para corrientes nominales desde los 15 A. con la posibilidad de obtenerlos en rango fijo o ajustable dentro de un rango especificado por el fabricante, y corrientes nominales máximas inclusive hasta los 4 KA.

El tiempo total de corte o apertura, está entre 10 y 20' ms. dependiendo de la capacidad de interrupción del interruptor.

En sistemas de PPJJ o rurales, es importante la especificación del número de polos, pues está en función del sistema de distribución adoptado. Utilizándose 2 polos para monofásico, 3 polos para trifásico y 4 polos para sistema 440/220.

Figura 3.22 Interruptor Automático de Baja Tensión en Caja Aislada Compacta (Molded Case)

**T1B 160**  
**Fijo (F)**



$I_n (40^\circ\text{C}) = 160\text{ A}$  -  $I_{cu} (415\text{ V}) = 16\text{ kA}$

FC Cu = Terminales anteriores para cables de cobre

$I_n$   $I_3$

Relé termomagnético - TMD			1SDA.....R1	
			3 polos	4 polos
			N= 50%	N= 100%
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	16	500	050870	050881
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	20	500	050871	050882
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	25	500	050872	050883
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	32	500	050873	050884
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	40	500	050874	050885
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	50	500	050875	050886
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	63	630	050876	050887
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	80	800	050877	050888
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	100	1000	050878	050889
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	125	1250	050879	050890
T1B 160 F FC Cu (1x70mm <sup>2</sup> )	160	1600	050880	050891 050936

Fuente: Catálogos de Siemens

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

SISTEMA MODULAR.- Permite la construcción y el montaje económico, por el reducido espacio que ocupa.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS: Tiene elevadas características eléctricas, de uso particular, en plantas industriales y navales.

Dimensiones pequeñas.

Protección contra sobrecargas y cortocircuitos, gracias a sus elementos termomagnéticos confiables.

Posee un mecanismo que abre los contactos en caso de cortocircuito.

Cuando está operando, está en la posición de cerrado "closed".

Su operación es independiente, pudiendo hacerse una operación manual.

Imposibilidad de funcionamiento en monofase o en una sola fase, cuando una sola fase del circuito sufre un cortocircuito, los tres polos actúan simultáneamente abriendo el interruptor.

Seguridad de servicio.- Para la completa operación de las partes bajo tensión.

Construcción robusta.- la caja aislante es de material aislante de elevada resistencia mecánica y baja higroscopia.

Amplia gama de aplicaciones.- Tiene gran versatilidad en el campo de la técnica de las instalaciones de baja tensión.

Indicación segura de la posición de los contactos.- La llave de maniobra indica claramente la posición de abierto “open” (down warda) o de cerrado “closed” (Up wars)del interruptor, en casos de intervención del elemento termomagnético, la llave de maniobra se coloca en posición intermedia, señalando claramente ésta intervención del dispositivo termomagnético, en tal caso la reapertura o el recierre se hará con la llave de maniobra.

Norma.- El interruptor responde a las normas IEC y registros navales.

#### CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:

Número de polos.- puede detenerse en 2, 3, 4 polos, lo cual permite hacer instalaciones en monofásico, trifásico e instalaciones 240/220.

### **3.3.5 ELECCIÓN DE LOS FUSIBLES DE BAJA TENSIÓN.**

El lado de baja tensión de la subestación, está conformado por los circuitos de distribución, como son: De servicio doméstico y servicio de alumbrado público, cada uno de los cuales debe ser protegido individualmente, de forma que si ocurrió una falla en uno de ellos, no afecta a los demás, a el propio transformador.

Para su elección se debe tener en cuenta los siguientes:

- El nivel de corriente bajo el cual va a operar.
- El porcentaje de sobrecarga que debe acortar sin llegar a la fusión.

### 3.3.5.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL ( $I_n$ )

Es la corriente de alimentación o de servicio.

$$a) I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} ; A. \quad (3.6)$$

Para sistema trifásico

$$b) I_n = \frac{P}{V \cdot \cos \phi} ; A. \quad (3.7)$$

Para sistema monofásico.

Donde:

P: Es la potencia en Kw. Del circuito

V: Es la tensión de operación en KV.

Cos  $\phi$ : Es el factor de potencia.

### 3.3.5.2 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE SOBRECARGA ( $I_d$ )

Es la corriente que determina el dimensionamiento del fusible.

Según el C.N.E. los transformadores no se deben recargar más del 50% de su potencial nominal. Sabiendo que existe la posibilidad de que más de un circuito puede sobrecargarse, se propone no aumentar más del 25% de sobrecarga por circuito (algunos profesionales adicionan hasta un 30% de sobrecarga).

Siendo entonces la corriente de diseño:

$$I_d = 1.25 I_n; A. \quad (3.8)$$

Con ésta corriente se determina el valor nominal del fusible, aproximadamente al valor más cercano normalizado, que existe en el mercado.

NOTA.-

En los circuitos de alumbrado público, la corriente de sobrecarga, no se considera, por ser una carga fija, y puede no haber sobrecarga.

Además, sí son de baja potencia, se les puede juntaren un solo circuito.

### 3.3.6 ELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

El interruptor termomagnético, constituye la protección de respaldo de los fusibles de los circuitos que da distribución secundaria.

Los interruptores poseen una regulación técnica (en algunas marcas), y una regulación magnética, que permite evaluar la corriente de sobrecarga y las sobrecorrientes respectivamente. Estos rangos de regulación permitirían una coordinación con los subsiguientes elementos de protección (en este caso los fusibles de B.T.), lo cual en redes de distribución rural, es tedioso, pues se debe coordinar cada fusible de cada circuito con el único interruptor, además de plantearse diferentes posibilidades de sobrecarga en los circuitos individualmente, obteniéndose resultados no muy diferentes al modo de elección por la corriente de sobrecarga.

Para la elección del interruptor se debe tener en cuenta, lo siguiente:

- La corriente nominal en el secundario ( $I_s$ ).
- La corriente de sobrecarga o diseño ( $I_D$ ).

#### 3.3.6.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL EN EL SECUNDARIO ( $I_s$ ).

Es el nivel de corriente en el lado de B.T.

$$a) I_s = \frac{(KVA)}{\sqrt{3} (KV)} ; A. \quad (3.9)$$

Sistema trifásico.

$$b) I_n = \frac{(KVA)}{KV} ; A. \quad (3.10)$$

Sistema monofásico.

Donde:

KVA: Es la potencia, aparente del transformador en KVA.

KV: Es la tensión del sistema en KV.

### 3.3.6.2 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE DISEÑO ( $I_D$ ).

Es la corriente donde se considera, la máxima sobrecarga especificada por el C.N.E. SUMINISTRO, del transformador, y que es del 50%.

$$( I_D ) = 1.5 I_s ; A. \quad (3.11)$$

Con esta corriente ( $I_D$ ) se elige la capacidad del interruptor termomagnético.

Al igual que en la elección de fusibles, si la corriente obtenida, no corresponde al nivel proporcionado por el fabricante, (se fabrican en valores normalizados) se permite utilizar el de valor más cercano al obtenido.

Algunos fabricantes ofrecen una regulación térmica, como la MITSUBISHI, lo cual se debe indicar al hacer el pedido.

La regulación magnética, se debe colocar en "H" (high), por que determina la posibilidad de utilizar las máximas capacidades de los fusibles de distribución secundaria NH, sin que se presente un traslape de las zonas de protección, o una falta de selectividad.

Cabe decir que algunos interruptores termomagnéticos, tienen puntos intermedios entre el límite máximo "H" (high).

Se recomienda, que cuando se realiza el cálculo, se disponga de la documentación de consulta, como catálogos, instrucciones, etc. De la marca que se desee utilizar, o existe en stock en el mercado.

### **3.4 PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES**

Las sobretensiones en un sistema eléctrico se presentan de dos maneras: Sobretensiones de origen interno y sobretensiones de origen externo.

#### **SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO**

Son debidas a las maniobras de operación del sistema (apertura o conexión de un circuito), o por incidentes de servicio (por accionamiento de los sistemas de protección, al aperturar un circuito fallado, con el consiguiente aumento de tensión en los demás que están operando).

#### **SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO**

Son ocasionados por descargas atmosféricas en las líneas de transmisión aéreas que están tendidas a campo traviesa.

El dispositivo utilizado en líneas de Subsistemas de Subtransmisión, en prevención contra sobretensiones, es el pararrayos.

#### **3.4.1 EL PARARRAYOS**

El rayo es una descarga eléctrica entre una nube cargada de electricidad y el suelo, o entre nubes. El potencial de la nube es del orden de una centena de millones de voltios, y la corriente de descarga llega a los 100 mil amperios. Actúa en las instalaciones eléctricas de tres modos diferentes.

- RAYO DIRECTO, cuando el impacto es en los hilos de la línea.
- RAYO INDIRECTO, cuando cae a un poste o sobre un cable de tierra.

- Por INDUCCIÓN ELECTROSTATICA o electromagnética, cuando el rayo produce un desplazamiento de cargas en un tramo de línea, provocando ondas de sobretensión.

La forma de proteger a los transformadores y otros aparatos eléctricos entre los impulsos de sobretensión debido a rayos o a una conmutación impropia efectuada en el sistema es el pararrayos. Este provee una trayectoria por la cual la descarga se deriva a tierra.

El pararrayos elemental consiste en un intersticio de aire, en serie con un elemento resistivo. La sobretensión produce una chispa que atraviesa el intersticio de aire y el elemento resistivo, el cual suele ser de un material que provee un camino de baja resistencia al impulso de sobretensión, pero ofrece una alta resistencia a la circulación de energía permanente en la línea; dicho elemento se conoce como elemento valvular.

#### **3.4.1.1 PARARRAYOS AUTOVALVULAR**

Está formado por dos sellos o topes de acero inoxidable que poseen grapas para conexión al conductor de línea y para el conductor de tierra respectivamente; ubicados en los extremos de una cámara aislante de porcelana que encierra al explosor, constituido por varios platillos separados entre sí, de un acero de alto grado de fundición (más de los 1500°C) en serie con el elemento resistivo no lineal (carburo de silicio, por ejemplo).

Son comúnmente usados en líneas de distribución, existiendo este tipo de pararrayos en niveles de tensión de 3 a 24 KV.

### 3.4.1.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVA

Los fabricantes de pararrayos autovalvulares, están regidos por las normas NEMA LA-1, ANSI/IEEE ESTÁNDAR C62, 1 – 1981, IEC standards 99-1 y CSA STANDARDS 233.

Las cuales exigen una serie de pruebas que garanticen un funcionamiento óptimo, garantizado y un nivel de aislamiento adecuado. Estas se pueden resumir en:

- CICLO DE OPERACIÓN NORMAL

Un ciclo de 24 disparos de prueba con 5 KA a 10K, seguido por 2 de AG KA a 65 KA (según la capacidad nominal).

- ALTA CORRIENTE, CON DESCARGAS DE CORTA DURACIÓN

2 pruebas de sobretensión con corrientes de 100 KA.

- BAJA CORRIENTE, CON LARGA DURACIÓN DE DESCARGA

20 pruebas de sobretensión con 75 a 200 A. con tiempos de 200 microsegundos.

Para simular la intensidad de descarga del rayo, en los laboratorios de fabricación, se ha normalizado una onda que reproduzca con la mayor fidelidad esta descarga.

De esta onda debe especificarse, el máximo impulso de la onda de tensión de la descarga, el frente de onda que crece con una velocidad en KV/microseg. La tensión máxima de descarga de la onda complete un tiempo de 50 microsegundos con un coeficiente de seguridad menor a 2.4, siendo suficiente para pararrayos de distribución 1.2., para que la resistencia variable deje pasar la máxima corriente de la onda de impulso

de la descarga. También debe especificarse la máxima corriente de descarga que soporte el pararrayos sin dañarse.

Según ANSI/IEEE standards C62\_1\_1981. La onda normalizada debe especificarse de la siguiente forma:

#### **3.4.1.3 IMPULSO MAXIMO DE LA TENSIÓN DE DESCARGA: (Kv).**

- Frente de onda: la pendiente debe crecer con una velocidad de 25 KV/microseg. Para un nivel de tensión de 3KV. A 100 KV/microseg. para una tensión nominal de 12KV.
- Onda completa: La onda positiva o negativa, debe desarrollar el 100% de su descarga en un tiempo de 50 microseg. con un coeficiente de 1.2, de seguridad, como mínimo.

#### **3.4.1.4 MÁXIMA INTENSIDAD DE DESCARGA: (Ka)**

La duración de las ondas de corriente, con amplitud máxima de descarga, será máximo 8X20 microsegundos.

Además se debe especificar sus características eléctricas:

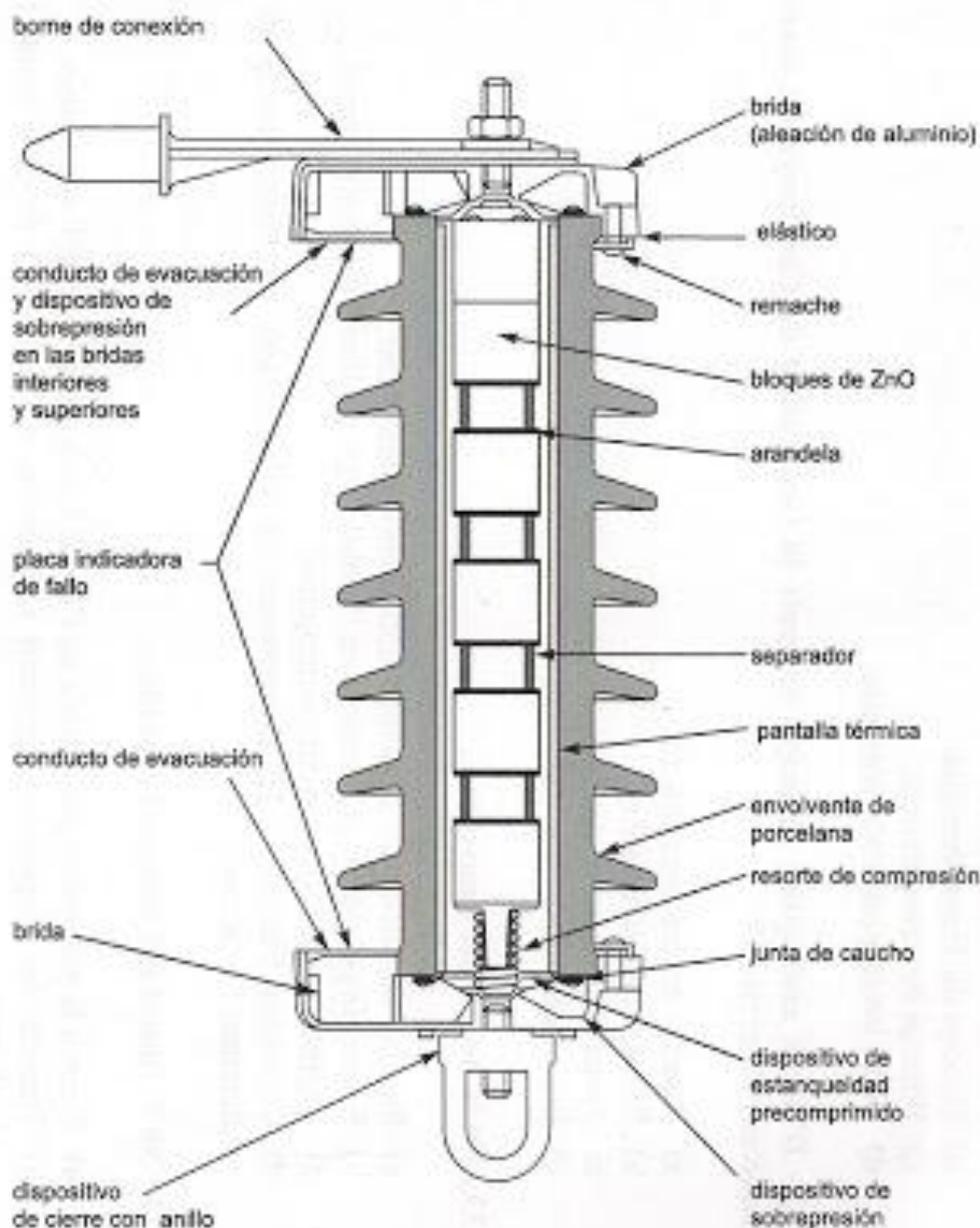
Tensión nominal.- La tensión de operación normal del sistema.

Tensión máxima de operación.- El nivel de tensión máxima de operación normal del sistema.

Frecuencia.- Frecuencia de servicio 60 HZ.

Tipo.- Autovalvular, codificado según el fabricante.

Figura 3.23 Pararrayos o descargador de tensión



Fuente: Partes de un tipo pararrayos de ZnO utilizado por las compañías francesas de electricidad en redes de 10 Kv. Imagen sacada del Cuaderno Técnico 151 de Schneider Electric.

Los pararrayos se ensayan de acuerdo con las más recientes normativas nacionales e internacionales, referente a pararrayos de óxidos metálicos: ANSI/IEEE C62.11, CEI 60099-4, UNE-EN 60099-4. Estos equipos superan con éxito los siguientes ensayos de tipo mínimos: Impulsos de corriente de gran amplitud y corta duración: 2 impulsos 4/10µs con valor

de cresta de 100 kA. Impulsos de corriente de larga duración: 20 impulsos con valor de cresta de 250 A y duración de 2.000  $\mu$ s.

Ensayo de funcionamiento: se aplican 20 impulsos con forma de onda 8/20  $\mu$ s y valor de cresta igual a 10 kA, seguidos de 2 impulsos de gran amplitud con valor cresta igual a 100 kA. Tras cada uno de estos ensayos, los pararrayos INAEL se mantienen térmicamente estables y el aumento en la tensión residual correspondiente a la corriente nominal de descargas es menor de un 10%.

#### **3.4.1.5 PROTECTOR CONTRA SOBRETENSIONES DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

Los pararrayos de Distribución serie "Q", proporcionan a bajo costo una protección efectiva, para toda condición anormal en los sistemas de distribución. Es obtenible en rangos desde 3KV hasta 21 KV. El pararrayos ofrece muchos beneficios de importancia.

**GARANTIA.-** El pararrayos es diseñado para aplicaciones en sistemas de distribución, como: Protección de aparatos, protección de líneas y protección de sistemas con retorno por tierra. Provee una excelente protección a un costo razonable.

**CALIDAD.-** Su rígido control de calidad asegura que todo el material que conforma el aparato, cumpla con todas las especificaciones standards. El elemento valvular esta acondicionado a tres separaciones de corrientes de sobretensión de 5 KA lo que le da una calidad y consistencia en las características de descarga. Una vez terminado el pararrayos, es sometido a prueba de perforaciones en una cámara de vacío, procedimiento que asegura la integridad de la calidad del sistema.

APTITUDES.- La consistencia del pararrayos, hace que pase 5 KA en un ciclo de 24 disparos de prueba, y dos de sobretensión de 65 KA de corriente de cortocircuito, y 20 pruebas de sobretensión con 75 amperios para 2000 microsegundos, bajo corrientes de prueba de larga duración, todas de acuerdo con las pruebas ANSI standards, para sobreprotectores contra sobretensiones en sistemas de distribución.

SISTEMA DE SELLOS.- Posee un sello para la conexión a línea consistente en una cubierta tope de acero inoxidable comprimido. Posee un sello para la conexión a tierra, conteniendo un perno de bronce siliconado. Esta técnica proporciona muchos años de utilización.

ELEMENTO VALVULAR.- El elemento resistivo no lineal, es carburo de silicio encerrándose en cerámica. Ellos están presionados dentro de un recipiente de collar cerámico. El bloque y el collar son quemados como una unidad única.

CONECTORES SEPARADOS.- Los espacios de separación del aislamiento cerámico, son usados conjuntamente con electrodos de acero inoxidable de forma que constituyen los contactos separados. Los electrodos tienen un grado de fundición muy alto (2800°F).

CÁMARA DE PORCELANA.- El alto proceso de acabados de la porcelana, proporciona grandes longitudes de fuga lo que reduce los efectos de contaminación.

TERMINAL DE LÍNEA.- Se puede asegurar con o mediante grapas conductores de aluminio o cobre, desde 6 al 35 mm<sup>2</sup> (N° 10 hasta 2/0).

DESCONECTADOR DEL CONDUCTO A TIERRA.- Evita la salida de una línea por desconexión debido a una falla de sobretensión en el sistema. La grapa de sujeción acepta conductores de 10 al 25 mm<sup>2</sup> (10 al N° 4 AWG).

SOPORTE DE MONTAJE.- De acuerdo a standars NEMA, el soporte para cruceta o montaje por polo, es el tipo A. Existiendo una variedad de soportes, para montajes en transformadores.

### INSTALACIÓN

Su instalación es unipolar en cada barra o línea de suministro, con conexión directa a un sistema de tierra. Las distancias de separación entre pararrayos y entre pararrayos y tierra. Están dados en la tabla siguiente:

Tabla 3.6. Distancias de Separación para la Instalación de Pararrayos (Mm)

Tensión Nominal KV	Separación con respecto a tierra		Separación entre pararrayos	
	INTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	EXTERIOR
2.3	130	160	200	300 mm.
6.6	155	185	210	315
10.0	180	210	230	340
13.2	235	230	285	375
23.0	235	285	285	405
30.0	315	385	365	480

Fuente : normas NEMA LA-1, ANSI/ I EE ESTÁNDAR C62, 1 – 1981, IEC standars 99-1 y CSA STANDARS

El conductor entre el pararrayos, en Subsistemas de distribución Primaria, se hace de acuerdo de lo siguiente:

- La tensión máxima de operación del sistema.

- Por el sistema de puesta en tierra.
- Por el nivel de aislamiento.
- Por la altitud de instalación.

#### **3.4.1.6 ELECCIÓN DE LA TENSIÓN DE OPERACIÓN DEL PARARRAYOS.**

En la operación del sistema, ocurren subidas de tensión momentáneas de origen diverso pero frecuente, siendo generalmente permisible un 5K de la tensión de servicio (el CNE. Suministro, norma estos niveles máximos de operación). Lo que se debe tomar en cuenta al elegir el nivel de tensión de operación del pararrayos ya que este no debe operar en estos percances, porque actuarían como una falla a tierra.

#### **3.4.1.7 ELECCIÓN DE LA TENSIÓN POR EL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

Se obtiene la tensión de operación del pararrayos en función de la tensión nominal del sistema y su sistema de puesta a tierra.

#### **3.4.1.8 ELECCIÓN POR EL NIVEL DE AISLAMIENTO**

Se hace en base a la capacidad de ruptura del pararrayos, que es función de la intensidad de máxima descarga que puede soportar el pararrayos.

El nivel del valor del rayo se mide por la amplitud máxima de la onda y viene expresada en amperios, los cuales no pasan de los 100 KA.

Por medio de números experiencias se miden las intensidades de cresta en diversidad de rayos y se establece con ellas una estadística mediante el cual se determina el tanto por ciento de niveles de intensidad de descarga, permitiendo elegir el pararrayos de acuerdo a la intensidad de descarga del rayo.

Se debe tener en cuenta que los valores de las intensidades de cresta que aparecen en los pararrayos son menores a los de incidencia, porque desde su iniciación de las ondas hasta su llegada al pararrayos, sufren un amortiguamiento debido a la resistencia y impedancia de la línea.

Generalmente solo un 5 K. de las descargas son superiores a los 30 KA., debiéndose tomar en cuenta la incidencia de tormentas con rayos por año, o niveles Isoceraúnicos. Un mapa mostrado en "A SIMPLIFIED METHOD POR STIMATING LIGHTING PERFORMANCE OF TRANSMISION LINES" publicado por la IEEE en abril de 1985.

En el caso peruano se han hecho trabajos aislados en la sierra central. En nuestra región, en base a experiencias de instalación de pararrayos, que han sufrido percances o destrozos por la descarga, se puede sugerir los siguientes valores:

Tabla 3.7. Valores en Kv para la Elección del Pararrayos

Tensión Nominal KV	Valor sugerido para el pararrayos (KA)
7.62	6 KA o menor
10 a 13.2	10 KA
20 a 22.9	20 o mayor

Fuente: "A SIMPLIFIED METHOD POR STIMATING LIGHTING PERFORMANCE OF TRANSMISION LINES" publicado por la IEEE en abril de 1985

#### 3.4.1.9 POR LA ALTITUD DE LA INSTALACIÓN

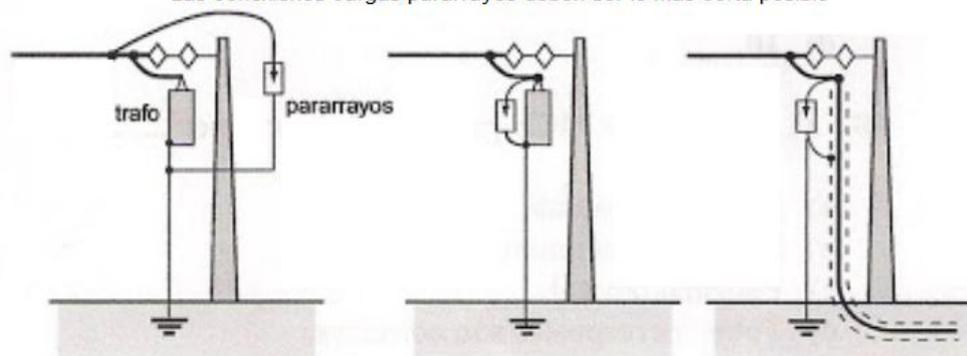
El NAB., es variable con la instalación de acuerdo a la altitud, por lo que se deberá indicar la altitud de su instalación. Usualmente se fabrican en tres alturas promedios de utilización:

- Hasta 1830 m.

- Hasta 3660 m.
- Hasta 5490 m.

Figura 3.24 Conexión incorrecta y conexiones correctas

Las conexiones cargas pararrayos deben ser lo más corta posible



Fuente: Electricity.

### 3.4.2 SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

El potencial electrostático es el trabajo hecho por un “agente externo” contra la fuerza electrostática para llevar la unidad de carga desde un punto inicial de mayor potencial, a otro final de menor potencial.

La tierra representa el punto final o de menor potencial, por lo que cualquier carga que exista en el espacio de encuentre en un campo eléctrico, tenderá a trasladarse a este potencial utilizando el camino de menor oposición o resistencia.

Los sistemas o puestas a tierra, tienen la finalidad de proporcionar un camino con la menor oposición posible a estas cargas que por diversas razones se precipitan a tierra.

Son muy importantes porque representan la seguridad de los componentes de la instalación y de las vidas humanas.

Se denomina sistema, porque reúne un conjunto de elementos cuya función depende uno del otro, de tal forma que si uno no opera como debe ser, todo

el conjunto o sistema no cumple con su función, que es el denominado en la instalación a tierra o al terreno con la mayor facilidad donde se dispersaran.

### 3.4.2.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Los elementos que conforman un sistema de puesta a tierra, en Subsistemas de Distribución Primaria son:

#### 3.4.2.1.1 CIRCUITOS DE CONDUCTORES DE UNIÓN

La resistencia de los conductores de enlace o unión, entre los aparatos del sistema de distribución y el sistema de tierra, deberá ser lo más baja posible. El C.N.E, aconseja utilizar conductores de cobre no menores a 16 mm<sup>2</sup> de sección para los circuitos de unión.

Figura 3.25 Conectores de unión



Fuente: Catálogos Promelsa

#### 3.4.2.1.2 ELECTRODO O TOMA DE TIERRA

Está constituido por varilla de cobre de 2 ó 2.5 m. de longitud y 60 mm<sup>2</sup> ó 3/4" de diámetro.

Figura 3.26 Varilla de electrodo o toma de tierra



Fuente: Catálogos Promelsa

### 3.4.2.1.3 LA TIERRA PROPIAMENTE DICHA

El terreno, donde se incrustará el electrodo, deberá tener una baja resistencia, lo que dependerá de su constitución y naturaleza. Cuando las condiciones naturales del terreno no sean favorables para lograr una baja resistencia de la toma de tierra (no deberá ser superior a los 20 ó 25 ohm.) se efectúa una enmienda o tratamiento de aquel.

#### TERRENOS ROCOSOS

Se hace un tratamiento químico, con soluciones que se encuentran para este fin (Bentonita por ejemplo).

#### TERRENOS HÚMEDOS

Se colocan placas de tierra de 3 a 5 mm. De espesor y de 1 a 2 m. de área.

#### TERRENOS POCO HÚMEDOS

Se practica un pozo que se llena con sal común (no menor a 40 cm, de profundidad).

#### TERRENOS SECOS

Se dispone una fosa con mezcla de carbón, buena tierra (de cultivo) y sal (para redes de media y baja tensión dos sacos de carbón y dos sacos de sal).

### 3.4.2.2 INSTALACIONES QUE DEBEN PONERSE A TIERRA

- Las masas metálicas, tanque del transformador, soportes metálicos, etc.
- Los dispositivos eléctricos que tienen la función de protección contra sobrecargas de origen atmosférico y de operación (pararrayos).

- El punto neutro de los devanados de los transformadores (de acuerdo al sistema).

El C.N.E. indica que cada una de las instalaciones anteriores, deben tener su sistema de puesta a tierra independiente. Por razones de economía y por ser de media tensión, en instalaciones rurales, se instala una tierra común, siempre que los conductores de puesta a tierra se encuentren separados y aislados hasta llegar a la tierra común.

El valor de la resistencia del terreno, es variable con el clima, por lo que es necesario comprobar el valor de la resistencia dos o tres veces por año. Estas condiciones se realizan con el TELURÓMETRO.

### 3.4.2.3 CALCULO DE LA PUESTA A TIERRA.

La resistencia propia para un sistema de puesta a tierra compuesta por un electrodo, se estima de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho_a}{2 * \pi * l} * Ln \left[ \frac{2 * (l + h)}{\sqrt{h^2 + a^2} + h} \right] \quad (3.12)$$

Donde:

$\rho_a$  = Resistividad eléctrica aparente del terreno (ohm-m)

$l$  = Longitud de la varilla (2,4 m)

$a$  = Radio de la varilla (0.008 m)

$h$  = Profundidad de enterramiento (0,3 m)

Donde,  $L2 \gg a^2$

### 3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El análisis de la potencia del sistema, que determina la corriente de cortocircuito, para el análisis de los fusibles tipo H o tipo T de accionamiento rápido o lento para hacer la coordinación de protección y elegir los relés de respaldo, en cada tramo desde el transformador hasta el ramal del circuito más extenso. Determinación del nivel de la línea primaria, para elegir el pararrayo con el BIL adecuado, de acuerdo a lo siguiente:

**Primero:** Se realizará la recolección de la información de los componentes de protección que son fusibles limitadores de corriente, Fusibles Normales, interruptores termo magnéticos, pararrayos, sistemas puesta tierra.

**Segundo:** Se analizará, interpretará y evaluará la recolección de la información.

**Tercero:** Se elegirá los componentes adecuados para la respectiva protección, para interpretar los resultados obtenidos.

**Cuarto:** Se propondrá alternativas para una adecuada elección de los componentes de protección para optimizar la confiabilidad de la continuidad del sistema.

## CAPITULO IV

### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

Para un ejemplo aplicativo, del cálculo del sistema de protección, tomaremos una de las subestaciones del proyecto del SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA PARA LA ELECTRIFICACIÓN DE LA LOCALIDAD DE CHUCUITO.

DATOS INICIALES:

Línea de alimentación Puno - CHUCUITO: 13.2 KV

##### 4.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA POTENCIA

Del estudio de M.D del proyecto de Redes Secundarias de la Localidad de INCA TUNUHUIRE (Se está tomando esta localidad como ejemplo), del distrito de CHUCUYTO, se obtiene el siguiente cuadro de cargas para una de sus subestaciones:

Tabla 4.1. Dimensionamiento de la Potencia

S.E.	Circuito s.	N° usuarios	M.D. K.W.	Carga. Esp.	Alumbrado Público	Potencia KW
01	C - I	13	5.2	-----	0.63	5.83
	C - II	12	4.8	2.5	0.99	8.29
TOTAL		25	10.0	2.5	1.62	14.12

Elaboración: Propia

- Según el punto 3.2.1, se toma este valor como Potencia Base S1. Con un factor de potencia 0.9. ( $S1 = P / \cos\theta$ )

$$S1 = 15.7 \text{ KVA}$$

- Según los puntos 3.2.2. y 3.2.3., la potencia dimensionada para el transformador es:

$$S = 21.18 \text{ KVA}$$

- Según el punto 3.2.4. la potencia elegida para el transformador de la S.E. 01, es de 25 KVA.

Máxima demanda: 14120 watts

La elección se realiza al más próximo valor de fábrica.

Tabla 4.2. Características del Transformador

S.E.	Transformador.	Tensión	Tensión Máxima
	KV	KV	KV
01	25	13.2	13.5

Elaboración: Propia

#### 1. ELECCIÓN DEL SECCIONADOR TIPO CUTOOUT DE A.T.

Para mejor objetividad de elección, se hará la recomendación, para tres capacidades de potencia, del transformador.

Siguiendo los pasos explicados en los puntos correspondientes, se obtienen los siguientes resultados:

- Según el punto 3.3.2.2, la corriente nominal en el Primario del transformador  $I_p$ .

Con un Sistema trifásico

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} v}; A$$

$$I_p = 2.5 \text{ A}$$

- Según los puntos 3.3.2.3 la corriente de sobrecarga:

$$I_{sp} = 1.5 I_p ; A$$

$$I_{sp} = 3.75 \text{ A}$$

- Según el punto 3.3.2.4 la corriente de Inserción.

$$I_{ns} = 12 I_p ; A$$

$$I_{ns} = 30 A$$

- Según el punto 3.3.2.5 la corriente de cortocircuito.

$$I_{cc} = 20 I_p ; A$$

$$I_{cc} = 50 A$$

Tabla 4.3. Elección del Seccionador Tipo Cutout

S(VA)	$I_p$ (A)	$I_{sp}$ (A)	$I_{ns}$ (A)	$I_{cc}$ (A)	Rango	Fusible Recomendado
25	2.5	3.75	30	50	2K, 3K, 6K	2K

Elaboración: Propia

## 2. ELECCIÓN DE LOS FUSIBLES DE DISTRIBUCIÓN EN B.T.

Para la S.E. 01: circuito 1

Según el punto 3.3.5.1, cálculo de la corriente nominal.

$$I_n = \frac{5.83}{\sqrt{3}(0.22)(0.9)} = 17 A$$

Según el punto 3.3.5.2, cálculo de la corriente de sobrecarga.

$$I_D = 1.25 \times 17 = 21.25 A$$

Los valores de los fusibles NH, están normalizados, se elige el valor más próximo: fusible elegido 20A, tipo NH, tamaño 00 y capacidad de ruptura de 20 KA, de igual manera se elige los demás circuitos.

Tabla 4.4. Elección De Fusible

S.E.	Circuito	In	Id	Fusible	Capacida d	Tamaño
01	C-I	17	21.25	20	20 KA	00
	C-II	24.17	30.21	16	20	00
	C-III	8.50	10.7	16	10	00

Elaboración: Propia

3. ELECCIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE B.T.

Según el punto 3.3.6.1, cálculo de la corriente nominal en el secundario.

$$I_s = \frac{25}{\sqrt{3}(0.22)} = 65.60 \text{ A}$$

Según el punto 3.3.6.2, cálculo de la corriente de diseño.

$$I_D = 1.5 \times 65.60 = 98.40 \text{ A}$$

Para la S.E. No 01, de 25 KVA. se obtiene una corriente de 98.40 A. con este valor, buscamos un valor próximo, en catálogos de información.

Del catálogo de MITSUBISHI MOLDED-CASE CIRCUIT BREAKERS (interruptores en caja compacta MITSUBISHI).

Para el tipo NF y su serie S (de uso general), elegimos el de capacidad nominal de 100 A. (NF 100-SS) y ajustable desde 80-100 y 100-125 A.

Tabla 4.5 Características del Interruptor Termomagnetico

Circuito	Trans.	Is (A)	I (A)	Capacidad	Regulación
01	25	65.61	98.42	100A	80 – 125
02	25	65.61	98.42	100A	80 - 125

Elaboración: Propia

ELECCIÓN DEL INTERRUPTOR DE CAJA COMPACTA (MOLDED CASE)

## 1. Para circuitos en general:

S: serie

Son de uso general, tiene tamaños y capacidades de interrupción flexible para cualquier sistema, siendo su corriente nominal ajustable.

C: serie

Este es de tamaño compacto y hermético, de bajo costo, puede remplazar a los del tipo s.

R: serie

Tiene buena performance en su corriente-límite, y gran capacidad de interrupción. Es empleado en repulsión electrodinámica y efectos de corrientes de limitación.

U: serie

Patentado en varios países, se usa con un fusible de potencia permanente, ofrece alta calidad de interrupción hasta los 170 KA y 480 VAC.

## 2. E: serie, para coordinación de protección

Posee control electrónico incorporado, llamado MELNIC, son ideales para la coordinación, pues se puede seleccionar su nivel de corriente de disparo.

BH: serie, para tableros de distribución

Posee un gran record de operación, buena regulación, esta línea también ofrece el tipo BH-P que está conectado al sistema mediante un fusible.

## 4. ELECCIÓN DEL PARARRAYOS

Tabla 4.6. Elección del Pararrayos

S.E.	Trans.	Tensión	Tensión Máxima	Nivel de Voltage del pararrayos	Max. Tens. de descarga
	KV	KV	KV	KV	
01	25	10	10.5	12	10 KA

Elaboración: Propia

## 5. PROTECCIÓN EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR

La protección contra sobrecarga y cortocircuitos en el secundario o el lado de baja tensión en el transformador, se hace como en el lado de alta con fusibles. A cada circuito de distribución se provee de un fusible unipolar o tripolar, los que deben garantizar un tiempo mínimo de fusión y un periodo razonable de sobrecarga, de forma que la vida útil de transformador no sea afectada. Los más comunes y de buenos rendimientos en S.E.A. son los fusibles normales Stándar, del tipo cuchilla.

## 6. ELECCION DE LA TENSION.

Los subsistemas de la zona de CHUCUITO, están a una tensión de 13.2 KV, por lo que el lado de A.T. del transformador, deberá tener este nivel de tensión. El estudio de redes secundarias, está hecho en base al sistema existente de la Región, el cual es 380/220, lo que determina que el transformador deberá ser trifásico con una tensión en B.T. de 380 v. y un borne para el neutro. (El sistema del lado de B.T., es especificado por la Empresa Regional de Electricidad).

## 7. ELECCION DEL GRUPO DE CONEXION

Al igual que el sistema de distribución, el grupo de conexión que deben tener los bobinados del transformador, es especificado por la Empresa

Regional de Electricidad, y se hace de acuerdo al existente en el punto de alimentación, en este sistema de ejemplo, es la conexión Yd 11.

En la Tabla 1, se muestra el diagrama de tensiones de esta conexión.

## 4.2 PROTECCION DE LA SUBESTACION

### 4.2.1 ELECCIÓN DEL SECCIONADOR TIPO CUTOUT

Por lo indicado, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 4.7 Resumen de Cálculo de Corrientes

S(KVA)	$I_p$	$I_{sp}$	$I_{ns}$	$I_{cc}$	
25	2.5	3.75	30	50	(A)

Elaboración: Propia

Por la forma de seleccionar un fusible de A.T. expuesto. Se obtiene el siguiente rango de fusibles que cumplen con los requisitos exigidos por las normas:

Rango : 2K, 3K, 6k

De la "Forma de seleccionar un fusible en A.T. elegimos al de 2K.

Como se podrá verificar, ninguno de los fusibles tipo T (lento), cumple con lo exigido por las Normas.

### 4.2.2 ELECCIÓN DEL TERMOMAGNETICO.

Según lo indicado en el punto 3.3.5.2 se obtiene para la S.E. N° 01 de 25 KVA, una corriente de diseño  $I_D = 98.40$  A.

De las características de Interruptores MITSUBISHI indicadas, según el sub punto 2, elegimos el interruptor en caja compacta tipo NF 100-SS.

Según el mismo sub punto, la regulación se pone en H, con el ajuste de 100 A.

#### 4.2.3 ELECCIÓN DE LOS FUSIBLES B.T.

Según el punto 3.3.5 a continuación se dan los fusibles tipo KH, elegidos para cada circuito.

Tabla 4.8. Fusible Elegido

S.E.	Circuito	In (A)	Id (A)	Fusible elegido (A)
01	C - I	15.16	18.95	20
	C - II	14.00	17.50	16
	C - III	8.50	10.7	16

Elaboración: Propia

#### 4.3 COORDINACIÓN ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN

Se ha indicado como “Consideración Importante” en el punto 3.3.2.1 y en punto 3.3.6 porque es un factor opcional realizar la coordinación de los elementos de protección de la S.E. en proyectos de electrificación rural. Pero para un estudio completo, se analizará esta coordinación.

La coordinación en una S.E. se hace en base a lo indicado en el punto 1.2. y a dos consideraciones:

- El tiempo de actuación por la corriente de sobrecarga.
- El Tiempo de actuación por la corriente de cortocircuito. Siendo de prioridad el último.

Debiendo ser los tiempos de actuación menores del elemento PROTECTOR, que el del elemento PROTEGIDO.

- Análisis por sobrecarga.

Está en función de la capacidad de sobrecarga que pueden soportar los transformadores en un determinado tiempo, se muestra la capacidad de sobrecarga de los transformadores de distribución hasta los 1600 KVA.

- Análisis por cortocircuito.

Está en función del tiempo que pueden resistir los transformadores, sin sufrir daños por efectos de la sobrecorriente.

Las normas ITINTEC 370.002 y CEI 76, señalan al respecto lo siguiente: "la capacidad máxima del transformador a los efectos térmicos de una corriente de cortocircuito de 20 veces la corriente nominal, debe tener una duración máxima permisible de 2 seg."

TIEMPO DE ACTUACIÓN DE LOS FUSIBLES DE B.T.

Circuito I: Fusible 20 NH00

Tabla 4.9 Circuito I: Fusible 20 NH00

	In	Id	Icc
Corriente (A)	15.16	18.95	303.2
Tiempo (S)	-----	-----	0.01

Elaboración: Propia

Circuito II: Fusible 16 NH00

Tabla 4.10 Circuito II: Fusible 16 NH00

	In	Id	Icc
Corriente (A)	14.00	17.5	280.0
Tiempo (S)	-----	-----	0.001

Elaboración: Propia

Circuito III: Fusible 10 NH00

Tabla 4.11 Circuito III: Fusible 10 NH00

	$I_n$	$I_d$	$I_{cc}$
Corriente (A)	8.50	10.70	163.6
Tiempo (S)	-----	-----	0.001

Elaboración: Propia

El tiempo mínimo de fusión de estos fusibles es de 20 minutos, para una sobrecarga del 50% de la corriente nominal.

Los valores del tiempo de actuación de los fusibles tipo NH00, se ha tomado de las Curvas Características de estos fusibles.

#### 4.3.1 TIEMPOS DE ACTUACIÓN DEL INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO

Como se ha indicado en el punto 3.3.4, los interruptores termomagnéticos, poseen un elemento termodinámico de protección contra sobrecargas (regulable) y un elemento magnético de operación instantánea para fallas de alta corriente (cortocircuito).

A continuación, se dan los tiempos de operación del interruptor termomagnético de la S.E. 02, para tres puntos de regulación:

Tabla 4.12 Regulación en 80 A Interruptor Termomagnético

	$I_n$	$I_D$	$I_{cc}$
Corriente (A)	80	98.42	1312.2
Tiempo (S)	-----	0.02	0.02

Elaboración: Propia

La regulación no es óptima, el interruptor actuará antes de alcanzar  $I_D$ .

- Regulación en 90 A

Tabla 4.13 Regulación en 90 A Interruptor Termomagnético

	$I_n$	$I_s$	$I_D$	$I_{cc}$
Corriente (A)	90	65.61	98.42	1312.2
Tiempo (S)	-----	-----	4.0	0.02

Elaboración: Propia

La regulación no es óptima, pues podría actuar por una sobrecarga repentina, lo que se debe prever por selectividad.

- Regulación en 100 A

Tabla 4.14 Regulación en 100 A Interruptor Termomagnético

	$I_n$	$I_s$	$I_D$	$I_{cc}$	$1.25\% I_n$
Corriente (A)	100	65.61	98.42	1312.2	101.25
Tiempo (S)	-----	-----	-----	0.02	420

Elaboración: Propia

La regulación es mejor que los casos anteriores, la actuación del interruptor, será debida a una sobrecarga del 54% de la  $I_s$  (101.25 A.) y a un tiempo de 420 seg. ó 7 minutos.

Tabla 4.15 Sobrecarga Admisible de Transformadores en Baño de Aceite

Altitud	Temp. Ambiente promedio °C	Sobrecarga admisible %	Tiempo Minutos
	35	55	30
• 2000	30	64	30
• 3000	25	73	30
• 4000	20	83	30
Más de 4000	15	91	30

Fuente: ASEA BROW BOBERI

La carga precedente, permanente a la sobrecarga se ha considerado del 50%

1. TIEMPO DE ACTUACIÓN DEL FUSIBLE TIPO CUTOUT

Los tiempos han sido tomados de las Curvas Características de fusibles tipoK.

Fusible recomendado: 2K

Tabla 4.16 Fusible de 2K

	$I_n$	$I_{sp}$	$I_{cc}$
Corriente (A)	2.5	3.75	50
Tiempo (S)	-----	-----	(0.08 – 0.2)

Elaboración: Propia

El tiempo mínimo de fusión de estos fusibles de cinta) es de 5 minutos, para una sobrecarga del 120% de la corriente nominal.

2. RESUMEN

TIEMPO DE ACTUACIÓN POR CORTOCIRCUITO

PROTECTOR: Fusibles de baja tensión

PROTEGIDO: Interruptor Termomagnético

Tabla 4.17 Tiempo de Actuación por Cortocircuito NH

PROTECTOR	Tiempo (S)	PROTEGIDO	Tiempo (S)
20 NH	0.01	NP 100 – SS	0.02
16 NH	0.001		
10 NH	0.001		

Elaboración: Propia

PROTECTOR: Interruptor Termomagnético

PROTEGIDO: Fusible tipo CUTOUT

Tabla 4.18 Tiempo de Actuación por Cortocircuito NF

PROTECTOR	Tiempo (S)	PROTEGIDO	Tiempo (S)
NF 100 SS	0.02	2K	0.08

Elaboración: Propia

Siendo de prioridad los tiempos de actuación de los dispositivos de protección por cortocircuito, de lo anterior, tenemos como conclusión, que los elementos de protección elegidos, cumplen con los requisitos de la coordinación de protección.

#### 4.3.2 ELECCIÓN DEL PARARRAYOS

1. Por la tensión máxima de operación del sistema

La tensión máxima del Sistema es: 13.2 KV

se tiene las características constructivas del pararrayos autovalvular, de donde elegimos un nivel de operación de 13.2 KV, para el pararrayos.

2. Por el Sistema de puesta a tierra

El sistema es: Sistema Aislado 3 conductores.

Según la TABLA 3.6, el nivel de operación del pararrayos es de 13.2 KV.

3. Por el nivel de aislamiento

Se ubica en las características proporcionadas por el fabricante por "Capacidad de Ruptura" según los valores sugeridos en la TABLA 3.4 y por la "Máxima intensidad de Descarga".

Se obtiene los siguientes valores:

Capacidad de ruptura: 13.2 KA

Máxima tensión de descargar a: 52 KV

4. Por la altitud de instalación

Según el punto 3.4.1.9, en esta subestación, se utilizará pararrayos para una altura promedio de 3660 m.s.n.m.

### 4.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LAS TOMAS DE TIERRA

Como se indica en el punto 3.4.2, en instalaciones rurales, se instala una tierra común, para el lado de M.T. y el lado de B.T. siendo este un pozo típico de puesta a tierra.

En el caso que se pongan pozos independientes, la separación entre pozos no deber ser menos de 2.5 m.

#### DISCUSION

Protección contra riesgos y seguridad personal.

Protección contra sobretensiones de origen externo.

La confiabilidad de un sistema de puesta a tierra, está en un bajo valor de resistencia que garantice que el gradiente potencial de la tensión de paso y toque, alcancen valores inofensivos.

La subestación no se debe poner en servicio, si la resistencia total del sistema de puesta a tierra, no excede de 25 ohmios (C.N.E.), porque se ha establecido teóricamente que, si una persona aun descalza y sin guantes, se encuentra en las cercanías de la subestación, no estará expuesta a peligrosas tensiones de toque y de paso, en caso de condición de falla de fase a tierra, y posterior contacto de la persona con las partes metálicas normalmente no energizadas de los equipos.

- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE M.T. Y B.T.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \frac{4L}{d}; ohm$$

Donde:

$\rho$  : Es la resistividad del terreno en ohm-m.

L : Longitud del electrodo de puesta a tierra en m.

d : Diámetro del electrodo de puesta a tierra en m.

Datos:

= 80 ohm-m (Tabla resistividades típicas de los suelos (C.N.E.) para tierras de cultivo)

L = 2.44 m. (Varilla Cooperwald de 1"  $\varnothing$  por 2.44 m. de longitud)

d = 2 x 0-508 m-

Reemplazando valores en la anterior fórmula, tiene los siguientes resultados:

R = 23.79 ohm.

Que está dentro de los valores exigidos, y además este valor es reducido más si se hace tratamiento como se indica en el punto 3.4.2.1, sub punto 3.

#### 4.3.4 PROCEDIMIENTOS DE COORDINACIÓN

1. Algunos proyectistas trasladan a un plano logarítmico las curvas características tiempo-corriente de todos los fusibles que posiblemente puedan utilizarse como protegidos, conjuntamente con la curva característica del fusible protector.

Luego visualmente se elige el fusible protegido teniendo en cuenta lo siguiente:

- La curva Tiempo-corriente del fusible protector deberá quedar a la izquierda de la curva correspondiente tiempo mínimo de fusión del fusible protegido.
- La curva tiempo corriente del fusible protector deberá tener en todos sus puntos un valor menor o igual al 75% de la curva de máximo tiempo de fusión del fusible protegido.

#### 4.5 DISCUSIÓN

1. El grado de protección requerido en un sistema eléctrico, está determinado e íntimamente ligado al cálculo o análisis de los parámetros que están relacionados con el dimensionamiento de los equipos del sistema.

Los subsistemas de Distribución Primaria, están compuestas del punto de alimentación, las líneas de transición y las subestaciones finales de distribución; en redes rurales, estas subestaciones son aéreas en barbotente, por lo que en el presente trabajo se hace el dimensionamiento de este tipo de subestaciones.

Un dimensionamiento mal efectuado, incidirá en el cálculo de la capacidad de los equipos de protección y por lo tanto en un mal funcionamiento del sistema de protección.

2. En el análisis del dimensionamiento de la subestación es necesario contar con varias alternativas de fabricantes y con la información necesaria proporcionada por estos, principalmente verificar las pérdidas del transformador, por altura, temperatura, etc.
3. La protección de una red rural, es óptima con los elementos primordiales como son los fusibles de alta y baja tensión y los pararrayos. En el lado de

baja tensión, se puede respaldar con un interruptor termomagnético, cuando así los requiere el diseño.

Este sistema de protección, resulta económico, en comparación del elevado costo de los reten electromecánicos o electrónicos y menos complejos en sus características de operación.

La construcción de estos equipos, facilitan el mantenimiento y montaje, proporcionando flexibilidad en la protección.

4. Los equipos no requieren mantenimiento continuo, pero presentan el inconveniente de cambiar el fusible cuando ha operado.
5. La utilización de fusibles, sólo es conveniente en protección de equipos de redes primarias o secundarias, en las cuales las fallas no son de gran envergadura, y no requieren de una elevada precisión en la medición y detección de fallas, así como tiempos de operación muy largos.
6. Los fusibles tipo eslabón, cinta o chicote, dadas sus características de operación, basados en la Ley de Joule  $I^2r$ , permiten una regulación de su tiempo de operación, lo que facilita hacer una coordinación entre estos y otros elementos de protección del sistema.
7. Para efectuar una buena coordinación en la protección es recomendable, utilizar fusibles de una sola marca y un solo tipo. Las Normas de Distribución de Electrolina determina el tipo K-ANSI normalizado.

En caso de que en el sistema ya existieran fusibles de otro tipo, deberá hacerse la tabla de equivalencia respectiva, entre las respectivas curvas características.

8. De acuerdo al ajuste de las curvas Tiempo-corriente en la coordinación de protección, se pueden establecer, las siguientes conclusiones:
  - a) Su operación es desde 0.1 seg. a 300 seg.
  - b) Su rango de ajuste es amplio, proporcionando precisión en las coordinaciones con otros relés.
  - c) La temporización para sobrecargas, sólo se puede realizar hasta un tiempo de 5 minutos, que en el tiempo de vida del fusible, durante sobrecarga.
  - d) Su constitución hace que su forma de operación durante un cortocircuito sea violenta. Algunos fabricantes adicionan curvas de tiempo de extinción del arco que se produce.
9. El uso de interruptores termomagnéticos en el lado de baja tensión, nos asegura una mayor vida útil del transformador, pues protege contra sobrecargas y contra cortocircuitos, con bastante confiabilidad, así como minimiza el cambio continuo de los fusibles de baja. Además que es un indicador del crecimiento de la máxima demanda, pues una continúa operación, nos determina una sobrecarga constante, debiendo cambiarse por lo tanto el transformador de potencia.
10. En todo proyecto debe considerarse el sistema de protección, sobre todo contra sobreintensidades y sobretensiones. El sistema de protección en Subsistemas de Distribución Primaria, en redes rurales, no se toma en cuenta las fallas a tiempo, porque significarían una elevación del costo del sistema de protección, debido a su baja incidencia en estas zonas. La detección de

este tipo de fallas, está dado por el sistema de alimentación, en el caso de ser parte de un Subsistema de Transmisión.

## V. CONCLUSIONES

1. Se analizó los componentes del sistema de protección en sistemas de distribución secundaria para garantizar la confiabilidad del sistema de protección y continuidad del sistema eléctrico.
2. Se realizó la descripción y aplicación de los conceptos y recomendaciones definidos en publicaciones, normativas y prácticas de la industria orientadas a la protección de sistemas eléctricos de redes secundarias
3. Se determinó la importancia de los elementos de protección en los circuitos eléctricos de redes secundarias.
4. La confiabilidad de un sistema eléctrico es la probabilidad de que el sistema funcione adecuadamente durante un período determinado bajo condiciones operativas específicas, es decir tensión y frecuencia nominal, garantizando el flujo de potencia en las cargas.
5. Un sistema es una colección de componentes o sub sistemas dispuestos de acuerdo a un diseño dado con el propósito de lograr el cumplimiento de unas determinadas funciones confiabilidad aceptable, en este caso la protección de subsistemas de distribución de energía eléctrica o redes secundarias. . El tipo de componentes, su cantidad, su calidad y el modo en que están dispuestas son los descritos en el presente trabajo.
6. Para fallas de sobrecorriente lado de alta los cut out, para sobretensiones el pararrayos, para lado de baja tensión los fusibles de cuchilla y los interruptores termomagnéticos de caja moldeada. Todos en conjunto con el sistema de puesta a tierra.

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los análisis sobre protección, en sus sistemas de protección, principalmente en sistemas trifásicos, puesto que el trabajo solamente fue en sistemas monofásicos de baja y media tensión.

Se recomienda utilizar los componentes de protección en subsistemas de distribución secundaria de una sola marca para así tener una mejor confiabilidad del sistema eléctrico.

## VII. REFERENCIAS

- Cervantes Vega Juan Rafael (2000) "Proteccion En Sistemas Electricos". Universidad Autonoma de nuevo leon. Facultad de ingenieria mecanica y electrica. San nicolas de los garza. Nueva león. España.
- Electricity (2018) Blog de Alejandro Benito Recuperado de <https://electricidad-viatger.blogspot.com/2010/01/proteccion-contrasobretensiones-en.html>
- Granados Dionisio, Adrian Alejandro (2012) "*Estudio Y Diseño Del Sistema Eléctrico Huacrachuco li Etapa*". Universidad Nacional De Ingeniería, Facultad De Ingeniería Mecánica. Lima: Perú
- Hernán ayre sínchez jorge (2005) "*Evaluación de la Confiabilidad Mediante el Método de Modo de Fallas y Ubicación Óptima de seccionadores en una red de distribución eléctrica*". Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería eléctrica y electrónica- tesis para optar el título profesional de ingeniero electricista. Lima : Peru
- Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio (2006). "*Metodología de la Investigación*". 4ª Edición. McGraw-Hill.México DF: México.
- Herrera Domínguez, Mike Alex (2015) "*Estudio De Coordinación De Las Protecciones Para Mejorar La Selectividad En El Alimentador De Media Tensión Tsu-016 De Hidrandina S.A, La Libertad*". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero mecánico electricista. UNI. Lima
- Maque Tinta, Robles Saúl (2016) Análisis, Diagnóstico Y Propuesta De Mejora De Calidad De Servicio A Causa De Fallas Imprevistas En El Suministro Eléctrico En El Distrito De Macusani - Carabaya. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico electricista en Universidad Nacional del Altiplano.
- Osinergmin orienta (2018) recuperado de: <http://www.osinergminorienta.gob.pe/documents/54705/339923/capitulo+7.pdf>

- Sanmiguel Garza, Ernesto (2001) “*Coordinación de protecciones en sistemas eléctricos en industria del Alkali S. A. De c. V.*” Facultad de Ingeniería Mecánica Y Eléctrica. División de estudios de post-grado, en opción al grado de maestro en ciencias de la ingeniería eléctrica con especialidad en potencia eléctrica
- Villón Villacreses Andrés León Carrera Javier (2002) “*Estudio de Coordinación de las protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE), Sub-Estaciones: Sta. Rosa, Libertad, Salinas y Chipipe*” .tesis de grado previa a la obtención del título de: ingeniero en electricidad  
Especialización: Potencia
- Yamoza rodríguez, jessika desiree (2007 ) ”*Estudio De Protecciones En El Sistema De Distribución De La C.A Elegua Filial De La E.D.C.*”. Universidad Simón Bolívar. Para optar al título de Ingeniero Electricista. Sartenejas. Venezuela.

## VIII. ANEXO

ANEXO A: Plano de Ubicación de la Subestación