ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL ALIMENTADOR EN 23KV SES01 DE LA ESTACION SAN ESTANISLAO

JOAQUIN JOSE MEDINA MEZA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay

Año 2018

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO DEL ALIMENTADOR EN 23KV SES01 DE LA ESTACION SAN ESTANISLAO

Elaborado por

JOAQUIN JOSE MEDINA MEZA

Tutor
ING. ALFREDO MORENO SOSA
LIC. GUSTAVO RAMOS

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Electricidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2018

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

Sonia y Joaquin, mis padres, por el apoyo, la confianza ciega, y por cada jornada de trabajo que pasaron sin rendirse ante el cansancio a lo largo de estos años.

Para Lucas y Juan Pablo, mis hermanos, por estar a mi lado en la vida.

A mis compañeros de estudio, por la ayuda que me brindaron para llegar a mi meta.

A la familia Cordone Jiménez por recibirme desinteresadamente, tenderme la mano, y ser mi segundo hogar.

A mis amigos, por escucharme y alentarme en todo momento.

Agradecimientos:

Al Ing. Alfredo Moreno por darme a conocer la carrera de Ingeniería Eléctrica, por guiarme en este proyecto final de grado, y por su incesante apoyo.

Al Lic. Gustavo Ramos por el respaldo y por el tiempo que dedico en asesorarme.

Al Ing. Juan Dure por ayudarme a iniciar este trabajo.

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL DESEMPENO DEL ALIMENTADOR EN 23KV SES01 DE LA ESTACION SAN ESTANISLAO

JOAQUIN JOSE MEDINA MEZA

RESUMEN

El objetivo de este proyecto final de grado es realizar un análisis entre dos alternativas, con el fin de mejorar el desempeño del alimentador en 23 kV SES01 de la Estación San Estanislao. Para llevar a cabo este proyecto se realizó un levantamiento de la situación en la que se encuentra el alimentador, posteriormente se utilizó el programa AutoCAD para digitalizar los datos recolectados.

Se realizó una inspección de los componentes del alimentador, y se recurrió al libro de novedades de la Estación San Estanislao para conocer las principales causas de las averías que ocasionaron fueras de servicio en el alimentador.

Las descargas atmosféricas, las crucetas en mal estado y las ramas sobre la línea fueron las principales causantes de las averías. La alternativa número 1, Hilo de guarda y mantenimiento del alimentador, la segunda propuesta es la de cambiar el sistema de conductores desnudos a conductores con Línea Protegida. Se realizó un análisis económico que relevo que una de las alternativas es totalmente viable, mientras que la otra alternativa presento un costo de implementación muy elevado. La implementación de cualquiera de las dos alternativas significaría mejorar el desempeño del alimentador en estudio de manera muy importante.

Palabras claveslas: Media Tensión, Hilo de guarda, Línea protegida, Calidad del servicio, Análisis de alternativas.

TITTLE IN ENGLISH

NAME AND LAST LAME

ABSTRACT

Must be included a brief presentation of the work, remarking its most relevant issues. At most, it must be of one page long with no more than 300 words. The first paragraph should state the subject being addressed. It must include principal objectives, most relevant results, as well as the most important conclusions. Cites or references should not be included here.

As the end of the de abstract should be written key words (words or phrases that allow the work to be classified and located according its knowledge area).

Key Words: XxxX, Xxxx, Xxxx Xxxx

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN i
Dedicado a: ii
Agradecimientos: iii
CONTENIDO vi
LISTA DE FIGURAS x
LISTA DE TABLAS xi
LISTA DE ABREVIATURAS xiii
I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 3
CAPÍTULO 1 3
1.1. Antecedentes históricos 3
1.2. Definición de términos básicos 3
CAPITULO 2 5
2.1. Sistemas de distribución 5
2.2. Clasificación de los sistemas de distribución de acuerdo a su construcción. 6
2.2.1. Redes de distribución aérea 6
2.3. Redes de distribución subterránea 7
2.4. Redes de distribución mixtas 9
2.5. Estructuras fundamentales 9
CAPÍTULO 3 13
3.1. Sistemas de protección de redes de distribución eléctrica 13
3.2. Descargas atmosféricas 13
3.1.1. Forma de onda del rayo 16
3.1.1. Nivel ceráunico 17
3.1. Efectos de las descargas atmosféricas 19
3.2. Dispositivos de protección 21
3.2.1. Reconectadores 21
3.2.2. Fusible 21
3.2.3. Seccionalizadores 23

Protección contra sobretensiones 23
3.2.4. 23
3.2.4.1. Sistema de protección por descargadores de sobretensión 23
3.2.4.2. Hilo de guarda 24
3.2.4.3. Hilo de guarda con fibra óptica 26
3.2.5. Puesta tierra 27
3.2.5.1. Composición de una puesta tierra 28
3.2.5.2. Tensión de contacto 29
3.2.5.3. Tensión de paso 30
3.2.5.4. Resistencia de puesta a tierra 30
CAPÍTULO 4 31
4.1. Concepto sobre las cargas 31
5.2.5. Fuera de servicio 31
5.2.6. Confiabilidad en los sistemas eléctricos 32
5.2.7. Calidad del servicio eléctrico 32
5.2.8. ¿Problema en la calidad de la energía eléctrica? 33
5.2.9. Importancia actual 34
5.2.9.1. Indicadores de la calidad del servicio eléctrico 35
5.2.10.1. FEP (frecuencia equivalente de potencia) 35
5.2.10.2. DEP (Duracion equivalente de potencia) 35
CAPÍTULO 5 36
5.1. Normativa internacional 36
III. RESUMEN EJECUTIVO 37
CAPITULO 6 37
6.1. Descripción del trabajo 37
6.1.1. Métodos y técnicas utilizadas 37
5.2. Tipo de investigación 37
5.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 38
5.4. Métodos y análisis de datos 38
5.5. Fases de la investigación 38
6.2. JUSTIFICACION 40

6.3. Finalidad del proyecto 41
6.4. Metas 41
6.5. Objetivos 42
6.5.1. Objetivos generales 42
6.5.2. Objetivos específicos 42
6.6. Beneficiarios 42
6.7. Producto 43
6.8. Localización física y cobertura espacial 43
6.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas 43
6.10. Recursos necesarios 45
6.10.1. Recursos humanos 45
6.10.2. Recursos materiales 45
6.11. Factibilidad técnica 45
6.12. Factibilidad económica 46
6.12.1. Beneficios 46
6.12.1.1. Reducción de los fueras de servicio 46
6.12.1.2. Disminución de los indicadores de la calidad del servicio ... 46
6.1.1.1. Menos pérdidas por energía no facturada 47
6.1.2. Costos 47
6.1.2.1. Costos de la implementación de alimentador con Línea Protegida y retiro de conductores desnudos. 47
6.1.3. Evaluación económica 48
6.1.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada 49
6.1.3.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR) 49
6.1.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN) 49
6.1.3.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI) 49
6.1.3.5. Análisis de Sensibilidad ..... **¡Error! Marcador no definido.**
7. INGENIERÍA DE DISEÑO 50
CAPÍTULO 6 50
6.1. Alimentador en 23 kV SES01 – Estación San Estanislao 50
6.2. Recolección de datos sobre el alimentador en 23 kV SES01 52
6.2.1. Estado de los componentes del alimentador SES01 52
6.2.2. Equipos de protección en línea sobre el alimentador SES01 53

6.2.3. Fueras de servicio en el alimentador SES01 54
6.2.3.1. Motivos 54
6.2.3.2. Análisis de las causas de los fueras de servicio en el alimentador. 54
6.2.3.2.1. Distribución geográfica de averías del alimentador SES01 56
6.3. Análisis de alternativas para el mejoramiento del alimentador en 23kV SES01. 58
6.3.1. Criterios para la selección de las alternativas. 58
6.1.1. Proyecto de Hilo de guarda y mantenimiento General. 59
6.1.1.1. Lista de estructuras del alimentador SES01 59
6.1.1.2. Hilo de Guarda 65
6.1.1.2.1. Características y sección del conductor de hilo de guarda . 65
6.1.1.2.2. Condiciones de servicio 65
6.1.1.2.3. Características técnicas 65
6.1.1.2.4. Características electromecánicas 66
6.1.1.2.5. Altura de la bayoneta 66
6.1.1.2.6. Puesta tierra 66
6.1.1.3. Crucetas del alimentador SES01 67
6.1.1.4. Limpieza de franja de paso o servidumbre 68
6.1.2. Proyecto de cambio de línea desnuda a línea protegida – SES01 . 69
6.1.2.1. Levantamiento de la red MT 69
6.1.2.1.1. Tipos de postes de la red 69
6.1.2.1.2. Levantamiento de acometidas 70
6.1.2.2. Características y sección del conductor 70
6.1.2.3. Lista de estructuras 73
6.1.1.1. CONSIDERACIONES ESPECIALES 75
6.1.1.1.1. DESCARGADORES DE TENSIÓN Y PUESTAS A TIERRA 75
6.1.1.1.2. SECCIONADORES 75
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 76
9. CONCLUSIONES 78
10. RECOMENDACIONES 79
11. APÉNDICE 80
Apéndice A: Resumen ejecutivo 80
Apéndice A.1: Recorrido del alimentador en 23 kV SES01 81
Apéndice A.2: Lista de costos de materiales para Línea protegida 83

Apéndice A.3: Reducción de PENF 86
Apéndice B: Ingeniería de diseño 88
Apéndice B.1: Planilla para levantamiento físico 89
Apéndice B.2: Planilla de motivos de averías del alimentador SES 01 90
Apéndice B.3: Mapa espacial SES01 94
Apéndice B.4: Características del conductor Protegido 96
97
98
Apéndice B.5: 99
Apéndice B.4: Xxxx 100
Apéndice B.5: Xxx 102
Apéndice C: Evaluación económica 103
Apéndice C.1: XXXX 104
BIBLIOGRAFIA 106

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: Xxxxx ..... yy
Figura 1.2: Xxxxxx ..... yy
Figura 1.3: Xxxxxx ..... yy
Figura 1.4: Xxxxxxxx ..... yy

CAPITULO 2

Figura 2.1: Xxxxx ..... yy
Figura 2.2:Xxxx ..... yy
Figura 2.3: Xxxxxx ..... yy
Figura 2.4: Xxxxx ..... yy

CAPITULO 5

Figura 5.1: Xxxx. ..... yy

Figura 5.2: Xxxxx ..... yy
Figura 5.3: Xxxx ..... yy

CAPITULO 6

Figura 6.1:Xxxx ..... yy
Figura 6.2: Xxxxx. ..... yy
Figura 6.3: Xxxxx ..... yy

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE B

Figura B.1: Xxxx ..... yy
Figura B.2: Xxxxx ..... yy

APÉNDICE C

Figura C.1: Xxxx ..... yy

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 5

Tabla 5. 1: Xxxxx ..... yy
Tabla 5. 2: Xxxxx ..... yy
Tabla 5. 3: Xxxx ..... yy
Tabla 5. 4: Xxxxx ..... yy

CAPITULO 6

Tabla 6. 1: Xxxx ..... yy
Tabla 6. 2: Xxxx ..... yy
Tabla 6. 3: Xxxxx ..... yy
Tabla 6.4: Xxxx ..... yy

V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Tabla V:1: Xxxx ..... yy
Tabla V:2: Xxxx ..... yy

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE A

Tabla A:1: Xxxxx..... yy
Tabla A:2: Xxxx ..... yy
Tabla A.3: Xxxxx..... yy
Tabla A.4: Xxxxxx..... yy

APÉNDICE B

Tabla B.1: Xxxxx..... yy
Tabla B.2: Xxxxx..... yy

APÉNDICE C

Tabla C.1: Xxxxx ..... yy
Tabla C.2: Xxxxx ..... yy

LISTA DE ABREVIATURAS

MT: Media Tensión

ANDE: Asociación Nacional De Electricidad

V: Voltios

K: Kilo

SEP: Sistema Eléctrico de Potencia

mA: Mili Ampere

PVC: Poli Cloruro de Vinilo

XLPE: Polietileno Reticulado

OPGW: Optical Ground Wire - Cable de tierra óptico

IEEE: Institute of Eléctrical and Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

PLC: Controlador lógico programable

I. INTRODUCCIÓN

La estación de San Estanislao es una estación transformadora de energía de la ANDE que cuenta con cinco alimentadores de 23.000 V. La ocurrencia de fallas en los alimentadores genera fueras de servicio de los mismos o recierres de los equipos de protección. En todos los casos se ocasionan problemas e inconformidad en los usuarios que se ven afectados por la falta de energía en un caso o por los pestañeos que se producen por los recierres aludidos, los cuales incluso en algunos casos pueden dañar ciertos artefactos eléctricos que se debe encargar de reanudar el servicio. La ANDE también se ve afectada por tales situaciones, ya que debe movilizar recursos para atender y resolver las averías producidas.

El alimentador SES01 es la línea con el mayor índice de fallas, superando ampliamente la cantidad de fueras de servicios de las demas lineas constituyendose asi en la causante del 45% de los fueras de servicios generados en la Estacion San Estanislao en el año 2014, en la parte de 23 000 voltios. El alimentador SES 1 tambien es la mayor causante de perdidas por energía no suministrada.

Para llevar a cabo este proyecto final de grado se debera realizar una recoleccion de datos pertinentes, estos datos seran obtenidos de los archivos de la ANDE, posteriormente se llevara a cabo un recorrido de linea para verificar la situacion actual de los componentes del sistema eléctrico del alimentador. Terminada la recoleccion de datos se realizara una investigacion para determinar cuales fueron las principales causas que generaron los fueras de servicio en el alimentador, esta investigacion sera fundamental para conocer con exactitud los motivos que generaron mayor indice de fueras de servicio. Posteriormente se determinaran cuales son las alternativas posibles para lograr el mejoramiento del desempeño del alimentador SES01, teniendo las opciones se procedera a realizar un analisis de cada alternativa propuesta, finalmente se realizara un

estudio de costo beneficio que nos dara conocimiento de las opciones financieramente mas atractiva para implem0entarse.

Al mejorar la calidad del servicio y al disminuir las perdidas por energía no facturada el trabajo beneficiara a ambas partes, tanto a los usuarios como a la ANDE, empresa que es la encargada del servicio eléctrico.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. Antecedentes históricos

En la Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ingeniería, Alfonzo Gonzales Arias realizó un trabajo de grado sobre “Mejoramiento de confiabilidad en el sistema de distribución eléctrica” en la localidad de Pereira en el año 2007. Algunos de sus objetivos fueron:

- Estudiar los índices de confiabilidad más representativos del sistema de distribución
- Estudiar los métodos para valorar la confiabilidad en sistemas de distribución
- Estudiar los métodos de reconfiguración en sistemas de distribución

Los métodos para valorar la confiabilidad en sistemas de distribución fueron estudiados y se determinaron que la técnica de frecuencia y duración es la más apropiada debido a que sus resultados brindan una mejor información al usuario

1.2. Definición de términos básicos

Alimentador: Circuito normalmente conectado a una estación receptora, que suministra energía eléctrica a uno o varios servicios directamente a varias subestaciones distribuidoras.

Fuera de servicio: Corte en el suministro de energía eléctrica producido por causas diversas.

Desempeño del Alimentador: Se refiere a la continuidad del servicio de energía eléctrica que el alimentador brinda a los usuarios, teniendo en cuenta los parámetros de frecuencia media de Interrupciones, tiempo total de Interrupción y la energía no suministrada.

Estación: es un conjunto orgánico de construcciones y de instalaciones destinadas a alguna de las siguientes funciones, producción, conversión, transformación, regulación, repartición, transporte, distribución, utilización de la energía eléctrica. Según ANDE se considera estación a los que operan con un nivel de tensión mayor o igual a 220 kV.

Recierre: Ocurre cuando un equipo de potencia realiza la desconexión de un circuito ante la presencia de alguna falla durante un breve lapso de tiempo, luego el equipo vuelve a poner en servicio el circuito para el funcionamiento normal del sistema, si el problema persiste el interruptor o el reconectador vuelve a realizar el mismo proceso una o dos veces más, si la falla es permanente el equipo deja fuera de servicio el alimentador.

CAPITULO 2

REDES DE DISTRIBUCIÓN

2.1. Sistemas de distribución

Los sistemas de distribución forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia. El sistema eléctrico de potencia (SEP) es el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo. En operación normal todas las máquinas del sistema operan en paralelo y la frecuencia en todo el SEP es constante. La suma de inversiones en la generación y la distribución supera el 80 % de las inversiones totales en el SEP. Es fácil suponer que la mayor repercusión económica se encuentra en el sistema de distribución, ya que la potencia generada en las plantas del sistema se pulveriza entre un gran número de usuarios a costos más elevados. Esto obliga a realizar las inversiones mediante la aplicación de una cuidadosa ingeniería en planificación, diseño, construcción y operación de alta calidad. La definición clásica de un sistema de distribución, desde el punto de vista de la ingeniería, incluye lo siguiente, Subestación principal de potencia, Sistema de transmisión, Subestación de distribución, Alimentadores primarios, Transformadores de distribución, Secundarios y servicios. Estos elementos son válidos para cualquier tipo de cargas, tanto en redes aéreas como en las subterráneas. [1].

2.2. Clasificación de los sistemas de distribución de acuerdo a su construcción.

2.2.1. Redes de distribución aérea

Figura 2.1. Red de distribución de energía eléctrica aérea

Este tipo de construcción se caracteriza por su sencillez y economía, razón por la cual su empleo está muy generalizado. Se adapta principalmente para cargas residenciales, comerciales, industriales y domésticas.

Los elementos principales en esta red (Transformadores, cuchillas, seccionadores, cables, etc.) se instalan en postes o estructuras de distintos materiales. La configuración más sencilla que se emplea para los alimentadores primarios es el de tipo arbolar, consiste en conductores en conductores gruesos en el troncal y de menor calibre en derivaciones y ramales. Cuando se desea mayor flexibilidad y continuidad es posible utilizar configuraciones más elaboradas.

Los movimientos de carga se realizan con juegos de cuchillas de operación con carga, que se instalan de maneras convenientes para poder ejecutar maniobras tales como trabajos de emergencia, ampliaciones de red, nuevos servicios, etc.
En servicios importantes como hospitales, edificios públicos o fábricas, que por la naturaleza del proceso no permiten falta de energía eléctrica en ningún momento, hay veces que se les dota de doble alimentación, aunque en la mayoría de los casos estas instituciones con servicios especiales cuentan con plantas o equipos de emergencia para paliar los servicios fundamentales.
En este tipo de red está muy generalizado el empleo de seccionalizadores, restauradores y fusibles, como protección del alimentador, para eliminar la salida del todo el circuito cuando hay fallas transitorias, las cuales representan un gran porcentaje del total de las fallas.

2.3. Redes de distribución subterránea

Figura 2.2. Red de distribución de energía eléctrica subterránea

Son empleadas en zonas donde por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad no es aconsejable el sistema aéreo. Actualmente el

sistema subterráneo es competitivo frente al sistema aéreo en zonas urbanas céntricas [2].

Tiene las siguientes ventajas:

- Mucho más confiable ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes aéreas no afectan a las redes subterráneas.
- Son más estéticas, pues no están a la vista.
- Son mucho más seguras.
- No están expuestas a vandalismo.

Tienen las siguientes desventajas:

- Su alto costo de inversión inicial.
- Se dificulta la localización de fallas.
- El mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas.
- Están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores.

Los conductores utilizados son aislados de acuerdo al voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Estos cables están directamente enterrados o instalados en bancos de ductos (dentro de las excavaciones), con cajas de inspección en intervalos regulares. Un sistema subterráneo cuenta con los siguientes componentes:

Ductos: que pueden ser de asbesto cemento, de PVC o metálicos con diámetro mínimo de 4 pulgadas.

Cables: pueden ser monopolares o tripolares aislado en polietileno de cadena cruzada XLPE, de polietileno reticulado EPR, en caucho sintético y en papel impregnado en aceite APLA o aislamiento seco elastomérico.

A pesar de que existen equipos adecuados, resulta difícil y dispendioso localizar las fallas en un cable subterráneo y su reparación puede tomar mucho tiempo, se recomienda construir estos sistemas en anillo abierto con el fin de garantizar la continuidad del servicio en caso de falla y en seccionadores entrada - salida.

Cámaras: que son de varios tipos siendo la más común la de inspección y de empalme que sirve para hacer conexiones, pruebas y reparaciones. Deben poder alojar a 2 operarios para realizar los trabajos. Allí llegan uno o más circuitos

y pueden contener equipos de maniobra, son usados también para el tendido del cable. La distancia entre cámaras puede variar, así como su forma y tamaño.
Empalmes uniones y terminales: que permiten dar continuidad adecuada, conexiones perfectas entre cables y equipos

2.4. Redes de distribución mixtas

Es muy parecida a la red aérea, difiere de esta solo en que sus alimentadores secundarios en vez de instalarse en la mampostería se instalan directamente enterrados.
Esta red tiene la ventaja de que elimina gran cantidad de conductores aéreos, favoreciendo con esto la estética del conjunto y disminuyendo notablemente el número de fallas en la red secundaria, con lo que aumenta por consecuencia la confiabilidad del sistema. El tipo de cable que por lo general se emplea es de aislamiento extruido directamente enterrado, con un transformador en poste alimentado desde una línea aérea y la bajada del cable al bus pedestal, desde donde se distribuye la energía a los servicios a través de cables secundarios directamente enterrados.

2.5. Estructuras fundamentales

Hay dos tipos fundamentales de redes de distribución:

- Radial
- Paralelo (anillado)

Radial: Es aquel que cuenta con una trayectoria entre la fuente y la carga, proporcionando el servicio de energía eléctrica.
Un sistema radial es aquel que tiene un simple camino sin regreso sobre el cual pasa la corriente, parte desde una subestación y se distribuye por forma de “rama”, como se ve en la figura 2.3.

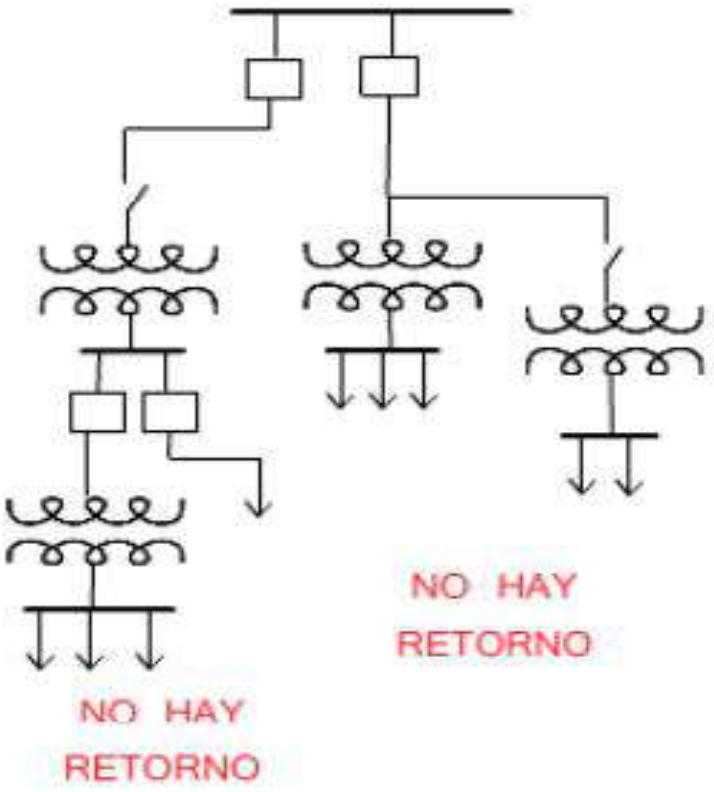


Figura 2.3. Sistema de distribución radial.

Este tipo de sistema de distribución tiene como característica básica, el que está conectado a un sólo juego de barras. Existen diferentes tipos de arreglo sobre este sistema, la elección del arreglo está sujeta a las condiciones de la zona, demanda, confiabilidad de continuidad en el suministro de energía, costo económico y perspectiva a largo plazo.

Este tipo de sistema, es el más simple y el más económico debido a que es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipo, sin embargo, tiene varias desventajas por su forma de operar:

El mantenimiento de los interruptores se complica debido a que hay que dejar fuera parte de la red.

Son los menos confiables ya que una falla sobre el alimentador primario principal afecta a la carga.

Este tipo de sistemas es instalado de manera aérea y/o subterránea.

Paralelo: Es aquel que cuenta con más de una trayectoria entre la fuente o fuentes y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica.

Este sistema comienza en la estación central o subestación y hace un “ciclo” completo por el área a abastecer y regresa al punto de donde partió. Lo cual provoca que el área sea abastecida de ambos extremos, permitiendo aislar ciertas secciones en caso de alguna falla.

Este sistema es más utilizado para abastecer grandes masas de carga, desde pequeñas plantas industriales, medianas o grandes construcciónes comerciales donde es de gran importancia la continuidad en el servicio.

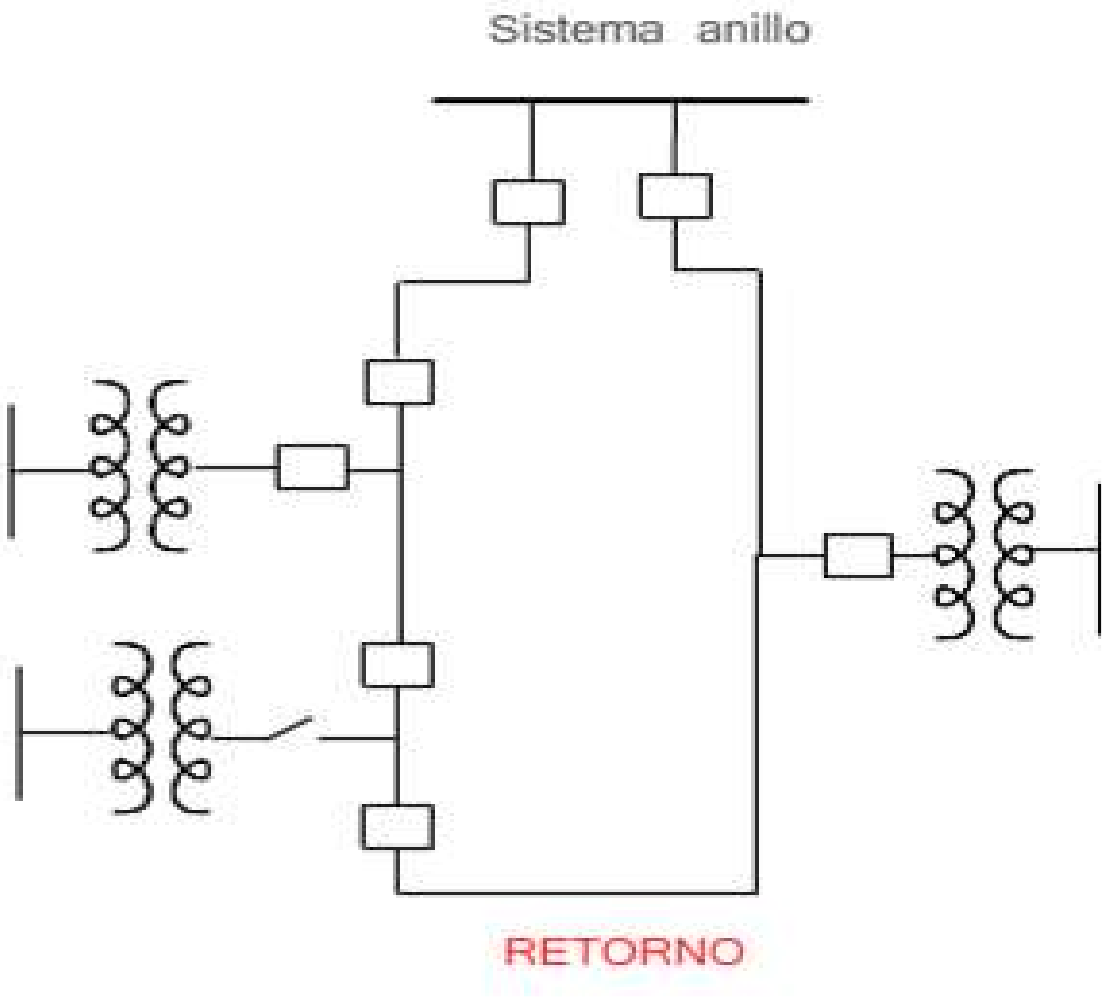


Figura 2.4. Sistema de distribución en paralelo

Cualquier variante del sistema en anillo, normalmente provee de dos caminos de alimentación a los transformadores de distribución o subestaciones secundarias. En general, la continuidad del servicio y la regulación de tensión que ofrece este sistema son mejor que la que nos da el sistema radial. La variación en la calidad del servicio que ofrecen ambos sistemas, depende de las formas particulares en que se comparen.

Regularmente, el sistema anillo tiene un costo inicial mayor y puede tener más problemas de crecimiento que el sistema radial, particularmente en las formas utilizadas para abastecer grandes cargas. Esto es principalmente porque dos circuitos deben ponerse en marcha por cada nueva subestación secundaria, para conectarla dentro del anillo. El añadir nuevas subestaciones en el alimentador del anillo obliga a instalar equipos que se puedan anidar en el mismo. A continuación, mostramos las ventajas en operación de este sistema:

- Son los más confiables ya que cada carga en teoría se puede alimentar por dos trayectorias.
- Permiten la continuidad de servicio, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.
- Al salir de servicio cualquier circuito por motivo de una falla, se abren los dos interruptores adyacentes, se cierran los interruptores de enlace y queda restablecido el servicio instantáneamente. Si falla un transformador o una línea la carga se pasa al otro transformador o línea o se reparte entre los dos adyacentes.

Si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados, al dejarlo desenergizado, el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, previo cierre automático del interruptor de amarre.

CAPÍTULO 3

PROTECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN

3.1. Sistemas de protección de redes de distribución eléctrica

Los sistemas de protección en distribución protegen las fallas de corto circuito y sobrecargas por medio de relevadores con interruptores de potencia, por medio de fusibles, por restauradores, así como por seccionadores automáticos de línea. Las consideraciones de selectividad, continuidad del servicio y confiabilidad que se aplican a la protección de los sistemas de potencia, son válidas también para los sistemas de distribución. Al igual que en la protección con relevadores, los elementos de protección de las redes de distribución deben coordinarse de tal manera que en todos los casos se tenga disparo selectivo. Se debe tomar en cuenta además la presencia del recierre automático que tienen los restauradores, lo que obliga a coordinar en tal forma que se tenga una mayor continuidad del servicio, como se verá más adelante [3].

3.2. Descargas atmosféricas

El rayo es una descarga transitoria de elevada intensidad, donde la mitad de estos rayos ocurren en el interior de la nube, y la otra mitad se dan entre nube y tierra.

Las descargas atmosféricas tienen su origen en las nubes llamadas Cúmulos Nimbus, con pisos cercanos a los 1000 metros y techos en los 12000 metros.

Dentro de la nube hay producción de vientos de hasta 220 Km/h y hielo que constituirá el granizo, con formaciones de diferentes tamaños. Estos vientos producen, en la generalidad de los casos y como ya hemos anticipado, cargas eléctricas en las nubes, positivas en la parte superior y negativas en su parte inferior.

En el estudio y cálculo de sobretensiónes, un rayo puede ser visto como una fuente de corriente que puede tener polaridad tanto como positiva, negativa o

ambas en una misma descarga, lo que se conoce como onda bipolar. En general, se han identificado cuatro tipos de rayo entre nube y tierra. Las descargas negativas forman el 90 % de las descargas que caen a tierra a lo largo de todo el planeta (categoría 1); menos del 10 % de las descargas son positivas (categoría 3). También existen descargas iniciadas desde tierra hasta la nube (categorías 2 y 4), sin embargo, estas descargas son relativamente raras y ocurren normalmente en zonas de gran altitud, desde los picos de las montañas o desde altas estructuras construidas por el hombre. Un aspecto adicional que se debe de tener en cuenta es la distorsión que la presencia de objetos altos puede provocar en los parámetros de un rayo respecto al que se originaría en terreno plano. En la figura 3.1 se pueden ver las diferencias entre las cuatro categorías comentadas.

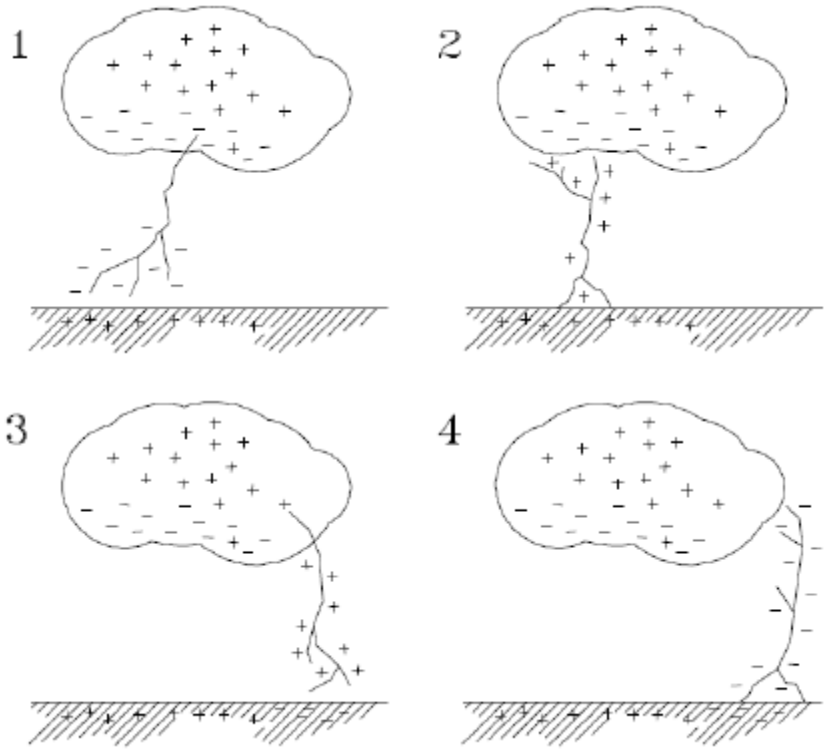


Figura 3.1. Tipos de rayos entre nube y tierra

Los rayos procedentes de una nube, tienden a impactar en tierra dentro de un área circular de aproximadamente 10 km de diámetro, dentro de este área el

impacto es casi aleatorio. Existe una probabilidad alrededor de un 20 % de que una segunda descarga caiga a 2, 3, o 4 km de la primera, y existe una probabilidad más pequeña de que una descarga caiga a unos 8 km o más de la primera. El valor medio de la distancia entre sucesivos puntos de impacto se encuentra en unos 3,5 km. El comportamiento de las descargas atmosféricas tiene un marcado carácter aleatorio, por lo que generalmente es necesario un elevado número de medidas para determinar con precisión su distribución.

En una primera fase el canal se propaga desde la nube hasta tierra en una serie de pasos discretos (descarga guía, o leader stroke, o stepped leader). El canal se ha iniciado en el interior de la nube a partir de un proceso preliminar de ruptura dieléctrica, aunque no existe en la actualidad un acuerdo sobre la forma exacta y localización de este proceso. El canal se propaga en direcciones aleatorias, con saltos discretos de 10 a 80 m de longitud, a una velocidad media de aproximadamente 1,5 a 2.105 m/s. La corriente media del canal se encuentra entre 100 y 1000 A. Mientras la punta del canal se acerca a tierra, el campo eléctrico en objetos puntiagudos de tierra o en irregularidades de la superficie aumenta hasta que ocurre la ruptura dieléctrica del aire. En ese momento se inician descargas desde esos puntos hasta que contactan con el canal. Una vez el canal ha contactado con tierra, comienza a descargarse por medio de una onda ionizante que se propaga hacia la nube a lo largo del canal previamente ionizado. Este proceso se conoce como primera descarga de retorno (o return stroke). La velocidad de la corriente de retorno del rayo típicamente toma valores de 1/5 a 1/3 de la velocidad de la luz en el vacío, variando con las condiciones atmosféricas, y decreciendo con la altura. El tiempo total transcurrido en la propagación de tierra a la nube es del orden de 70 μs. La primera descarga de retorno produce un pico de corriente del orden de 30 kA. Cuando la descarga de retorno cesa, el proceso que envuelve al rayo, incluyendo varios procesos de descarga en el interior de la nube, podría finalizar. En este caso, este proceso es llamado rayo de un único impacto. Por otro lado, si la nube dispone todavía de carga adicional, otro canal continuo puede propagarse hacia abajo a lo largo del primer canal residual e iniciar otra descarga de retorno. Algunos de estos

segundos canales actúan como los primeros porque no siguen el canal de retorno previo. Los segundos canales y las subsiguientes descargas de retorno normalmente no están ramificados [4]

3.1.1. Forma de onda del rayo

Desafortunadamente, todas las descargas de un rayo, o descargas en diferentes rayos, no tienen igual severidad. Sus amplitudes y formas de onda varían estadísticamente. La forma de onda de la corriente de retorno depende fuertemente de la polaridad del rayo. En rayos de polaridad negativa, la segunda descarga tiene una forma de onda diferente de la primera, presentando generalmente un frente más rápido y una duración menor. Los impulsos positivos tienen un frente de onda más lento y una duración más prolongada que los negativos. [4]

Se han realizado numerosas medidas experimentales sobre la corriente en la base del canal de una descarga. La Figura 3.2 muestra la forma de onda de la corriente de retorno (definida por Anderson y Eriksson durante sus estudios en el año 1980), donde T10 es el intervalo de tiempo entre el 10% y el 90% de la corriente de pico del rayo, y T30 es el intervalo de tiempo entre el 30% y el 90% de la corriente de pico. Los valores de corriente se encuentran normalizados.

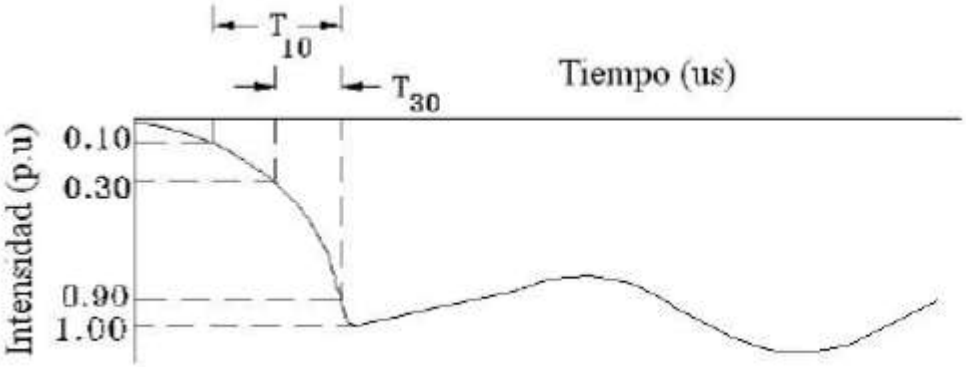


Figura 3.2. Típica forma de onda de la corriente de retorno de un rayo.

De manera simplificada se puede utilizar una onda con forma en doble rampa para la corriente del rayo (ver Figura 3.3).

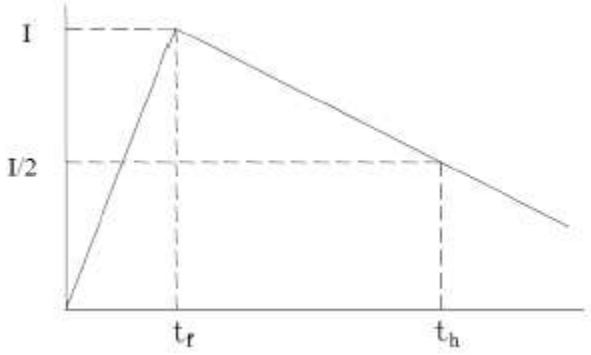


Figura 3.3. Onda de descarga en doble rampa.

Normalmente se define esta onda mediante tres parámetros, ver figura anterior:

a) Su valor máximo o de pico, 1 a 400 kA, 30 kA es el más representativo.
b) El frente de onda, o tiempo de frente, o tiempo de subida tf necesario para alcanzar este valor de pico. Es muy breve, variando entre 1 y 30 μs, 2 μs es el más representativo.
c) El tiempo de decrecimiento, o cola de onda, o tiempo a valor medio de la corriente de pico (o tiempo th) necesario para que la onda disminuya a un 50% de su valor máximo. Varía entre 10 a 250 ms, siendo 50 ms el valor más representativo.
d) Descargas por rayo: 1 a 26, valor medio 4.

3.1.1. Nivel ceráunico

La probabilidad de caída de rayos en una determinada zona se mide mediante el nivel ceráunico, es decir, la cantidad de días en promedio en el año durante los cuales en un lugar dado ocurren tormentas eléctricas, o al menos se escuchan truenos (Td[días/año]), de un lugar del planeta. Se suele representar en forma de curvas isoceráunicas, que grafican los peligros potenciales de una determinada zona.
En la siguiente ecuación [1], si *a* designa el ancho (en metros) de la faja de terreno cubierta por una línea dada, y Td es el nivel ceráunico de la zona, la

cantidad de descargas atmosféricas a que podrían estar sujetos 100 km de línea sería:

$$D = 0{,}01 \cdot a \cdot Td \text{ [(descargas/año)/100 km]} \qquad [1]$$

En caso de no estar disponible la densidad Ng, se la puede estimar mediante la siguiente fórmula (Según CIGRE - Anderson - Eriksson):

$$Ng: 0{,}04.T_d^{1,25} \text{[Rayos a tierra/km}^2\text{.año]} \qquad [2]$$

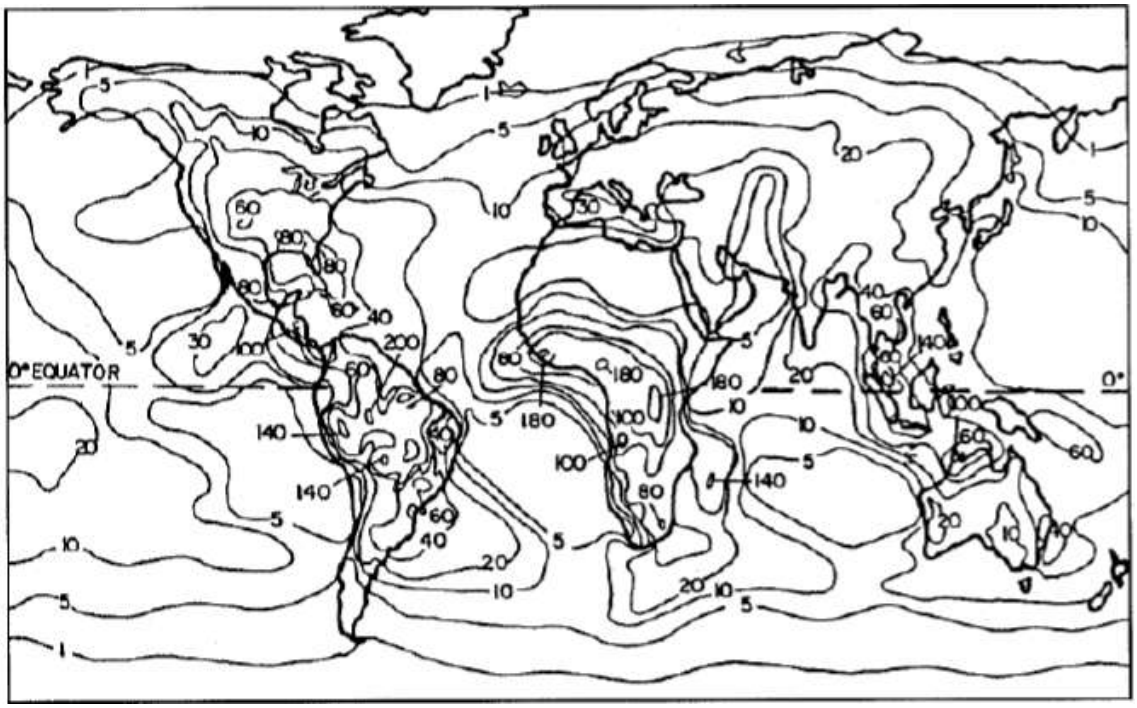


Figura 3.4. Niveles isoceráunicos en el mundo.

Las descargas atmosféricas se originan por la transferencia (súbita) de la carga eléctrica acumulada en la nube a otra nube o a tierra.

La acumulación de la carga en las nubes se origina por el roce de estas contra corrientes de aire, generalmente de variadas temperaturas así como por la recolección de cargas existentes en la atmósfera. La distribución más probable de las cargas dentro de la nube consiste en una acumulación de cargas positivas

en la parte superior y negativas en la parte inferior. A manera de un condensador en el cual el dieléctrico está constituido por la parte central de la nube. Este denominado “efecto del condensador” se presenta en la parte inferior de la nube y la tierra, en la cual hay una acumulación de la carga positiva.

Cuando la acumulación de cargas negativas en la nube alcanza valores altos (electro estáticamente crítico), la repulsión entre cargas de igual signo originan un desplazamiento de estas hacia las de signo contrario a través de canales de carga en el aire. En estos canales al tiempo que crecen se despliegan lateralmente en forma aleatoria.

Debido a efectos electroestáticos y el viento, prolongándose unas veces y encontrándose otras.

Relámpago de nube-a-tierra es el más perjudicial y peligroso de los relámpagos, aunque no el tipo más común. La mayoría de las descargas originan cerca del centro de la carga bajo-negativo y entrega carga negativo a Tierra. Sin embargo, una minoría apreciable de las descargas lleva carga positiva a Tierra. Estas descargas positivas a menudo ocurren durante la finalización de la tormenta. Las descargas positivas también son más comunes en un porcentaje de caídas de rayos a tierra del total durante los meses del invierno

El rayo entre nube tierra es el tipo más común de descarga. Éste ocurre entre cargas opuestas dentro de la misma nube. Normalmente el proceso se produce dentro de la nube y parece del exterior de la nube. Sin embargo, la descarga terminaría en el límite de la nube y con un cauce luminoso, similar a un nube a tierra.

3.1. Efectos de las descargas atmosféricas

Las sobretensiones y corrientes introducidas por el golpe de rayo, se propagan por las líneas y pueden penetrar Estaciones provocando:

- Efectos térmicos: Fusión de componentes, incendios, explosiones.

- Esfuerzos mecánicos debido a esfuerzos electrodinámicos entre conductores.

- Choque eléctrico por sobretensiones provocadas por incrementos del potencial en la propagación de la onda.

- De contorneos derivando en pérdidas de aislamiento y cortocircuitos o perforación de aislamientos.

- Peligrosa elevación de los potenciales de las tomas de tierra.

- Efectos electromagnéticos por la alta frecuencia, o de radiación e inducción.

- Efectos electroquímicos, acústicos y fisiológicos

Consecuentemente se tiene:

- Degradación de los materiales aislantes en forma brutal, provocando perforación del dieléctrico, o su envejecimiento prematuro, y posterior perforación.

- Perturbaciones en los circuitos de corrientes débiles ya sea de mandos o comunicaciones.

- Interrupción del servicio, cuando provocan fallas. Largas por reposición de componentes, o cortas por actuación de automatismos.

Peligro a seres vivos. Las tensiones de paso pueden provocar electrización y causar electrocución.

3.2. Dispositivos de protección

3.2.1. Reconectadores

El reconectador es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobre corriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para reenergizar la línea. De esta manera, si la falla es de carácter permanente el reconectador abre en forma definitiva después de cierto número programado de operaciones, de modo que aísla la sección fallada de la parte principal del sistema.

La tarea principal de un reconectador entonces es discriminar entre una falla temporal y una de carácter permanente, dándole a la primera tiempo para que se aclare sola a través de sucesivas reconexiones; o bien, sea despejada por el elemento de protección correspondiente instalado aguas abajo de la posición del reconectador, si esta falla es de carácter permanente [1].

3.2.2. Fusible

Los fusibles son los dispositivos de protección más simples, están formados por un elemento conductor fusible, un cartucho que contiene al elemento fusible y un porta fusible que soporta los cartuchos. El fusible se puede definir como un dispositivo de protección con un circuito fusible de interrupción directamente calentado y destruido por el paso de la corriente de corto circuito o de sobrecarga. Existen varios tipos de fusibles, como los de un elemento o de doble elemento, los convencionales y los limitadores de corriente, etcétera. El principio de operación de los fusibles consiste en que son un conductor de sección transversal pequeña, por lo cual su resistencia eléctrica es mayor que la del elemento protegido y por lo tanto generan más calor. Además, por su menor sección, los fusibles soportan menos calor y se funden con rapidez. La operación del fusible se ilustra en la figura 1.

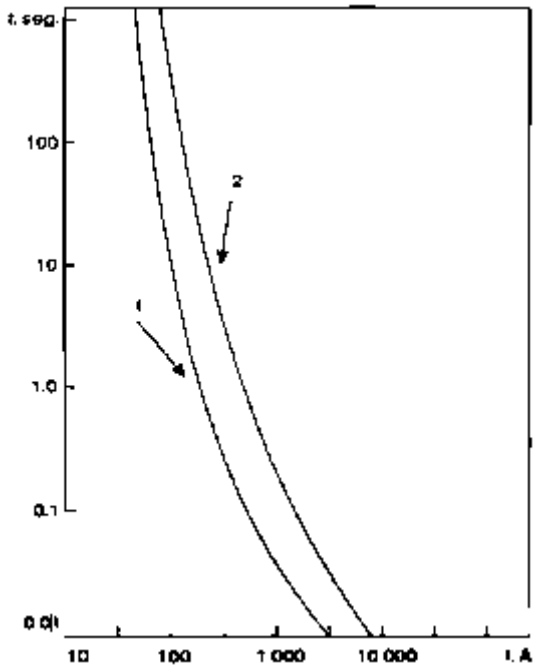


Figura 3.5. Curva de operación de los Fusibles

La curva de tiempo mínimo de fusión representa el tiempo mínimo en el cual el fusible puede fundirse con las diversas corrientes. El tiempo máximo de eliminación de la falla representa el mayor tiempo en que se funde el fusible y se elimina el arco eléctrico. En otras palabras, la operación del fusible se restringe al área comprendida entre las dos curvas. Para una determinada corriente el tiempo de operación real se encuentra entre el tiempo mínimo y el máximo que indican las curvas.

En los sistemas de distribución se usan fusibles de alta tensión para proteger los transformadores de distribución y alimentadores aéreos de diversos tipos. Existen fusibles de alta tensión convencionales que operan con cierta lentitud y fusibles limitadores de corriente que operan antes del primer cuarto de ciclo de la corriente de corto circuito [1].

3.2.3. Seccionalizadores

Los seccionalizadores automáticos de línea son dispositivos de protección de sobrecorriente que se instalan sólo con respaldo de interruptores con relé de recierrre o restauradores. Ellos operan sobre la base de contar el número de interrupciones causadas por el dispositivo de protección de respaldo y abren durante el tiempo de circuito muerto, después de un número preestablecido (1 a 3) de operaciones de disparo del dispositivo de respaldo. La corriente que cuenta el restaurador es superior a la nominal en 60% aproximadamente.

La operación de los restauradores permite seccionar los alimentadores de distribución en caso de falla, de tal manera que parte de ellos permanezca en servicio, lo que representaría un costo mucho mayor si esto se hiciera con restauradores o interruptores.

Las condiciones de operación de un seccionador pueden ser tres:

1) Si la falla se elimina cuando el restaurador abre, el contador del seccionador volverá a su posición normal después de que el circuito sea reenergizado.

2) Si la falla persiste cuando ocurre el recierre, el contador de fallas-corriente en el seccionador estará preparado para registrar o contar la siguiente apertura del restaurador.

3) Si el restaurador está programado para abrir al cuarto disparo, el seccionador se calibrará para abrir durante el circuito abierto siguiente al tercer disparo del restaurador [1].

3.2.4. Protección contra sobretensiones

3.2.4.1. Sistema de protección por descargadores de sobretensión

El descargador es un dispositivo cuyo principal elemento activo son los varistores de óxido metálico, la característica principal es su no linealidad. Cuando está trabajando a voltaje nominal, la corriente que fluye a través de este es de aproximadamente 1 mA. A medida que el voltaje aumenta, su resistencia disminuye drásticamente, permitiendo que fluya más corriente y que la energía del sobrevoltaje se drene a tierra. Tiene como objetivo eliminar sobrevoltajes transitorios de las líneas de distribución eléctrica. Estos sobrevoltajes se

producen por descargas atmosféricas sobre las líneas o por cambios repentinos en las condiciones del sistema, como operaciones de apertura/cierre, fallas, cierre de cargas, etc.

La utilización correcta de los pararrayos exige no solamente cumplir los requisitos de coordinación, tensión residual y capacidad de disipación de energía en la descarga, sino que también es preciso situarlos lo más cerca posible de los aparatos a proteger para evitar fenómenos de reflexión de ondas que puedan originar tensiones en estos aparatos superiores a la máxima tensión garantizada en bornes del pararrayos, lo que se denomina nivel de protección. Es necesario también que las conexiones a tierra y a la línea sean lo más corta posible, para no sumar a la resistencia propia del pararrayo una resistencia excesiva de las conexiones que produzcan un valor R.ip demasiado grande. [4].

3.2.4.2. Hilo de guarda

Los hilos de guarda instalados en las redes de distribución, son cables sin tensión que se colocan en la parte más alta en las redes, se conectan a la misma estructura a través de bayonetas y sirven para varios motivos. Uno es el generar un equipotencial de tierra en todo el trazado de la línea, rebajando al mínimo la resistencia de tierra ya que con el cable se unen todas las estructuras y por defecto toda la toma de tierra del trazado. Otro motivo es para intentar captar el rayo durante las tormentas y conducirlo a tierra.

Resulta perjudicial a nivel de seguridad eléctrica y del propio transporte de energía es cuando un rayo impacta en el cable, éste sufre una degradación de material, es decir, la energía generada del rayo en el punto de contacto del cable, crea la fusión del material y perdida de éste por un lado, y por otro, la modificación de su resistencia mecánica. Un cable afectado por rayo, es un peligro inminente para el suministro eléctrico, ya que se puede partir y cortocircuitar los cables de tensión que están por debajo de él, creando más chispazos y fusión de los cables de tensión. El problema no es la desconexión del servicio, el problema es que seguramente este deterioro no se percibe en el momento de la reparación y más adelante puede aparecer el accidente de verdad [3].

La acción protectora del hilo de guarda se determina por “zonas de protección” o también conocidos como “ángulos de protección”. Dichas zonas son fundamentales en la configuración de líneas eléctricas aéreas, dado que la misma influye considerablemente sobre su diseño.

Inicialmente se había considerado la acción protectora del hilo de guarda teniendo en cuenta que la carga del conductor de fase (debido a la influencia atmosférica), estaba limitada por la vecindad y la capacidad que existía con dicho conductor. En base a esto, se habían ubicado los hilos de guarda al lado de los conductores de fase. Investigaciones realizadas considerando características y desarrollo del rayo, han demostrado que el principal peligro no se debe buscar en las pequeñas cargas por intermedio de los denominados golpes indirectos y la vecindad de las líneas eléctricas aéreas, sino en la magnitud de la carga producida por los golpes directos en los conductores. Con esto se ha decidido claramente que solamente los hilos de guarda, que en forma de una jaula de Faraday, protegen los conductores contra las nubes; efectuando una protección eficaz debiéndose ubicar los mismos sobre los conductores y no al lado de ellos.

El costo consiste no solamente en el hilo de guarda propiamente dicho, sino también tienen importancia los gastos por alargamiento y refuerzo de los soportes.

El problema de como colocar el hilo de guarda para conseguir una protección total contra las descargas directas de los rayos a los conductores ha sido muy discutido, no llegándose hasta ahora a ningún resultado definitivo. Por ello se enuncian las principales propuestas para resolver el problema:

- BEWLEY: Asume que el rayo choca siempre el objeto más próximo a la nube cargada y deduce de esta hipótesis las fórmulas para la colocación de los hilos de guarda. Estas fórmulas dependen de la altura de las nubes cargadas, lo que es un factor difícil de determinar. Bewley llega a la conclusión de que, para las nubes de una altura de 5 a 30 veces la altura de los hilos de guarda sobre la tierra, el ángulo protector es de 55º a 75º.

- WAGNER: En base a ensayos de laboratorio, recomienda adoptar un ángulo protector del hilo de guarda de 30º a 40º para los conductores externos y de 70o a 80o para los colocados entre los hilos de guarda.
- GOLDE: Llega a la conclusión de que el ángulo protector del hilo de guarda es aproximadamente 64º y aumenta con la intensidad de la corriente del rayo.
- LEWIS: Recomienda para conductores dispuestos horizontalmente, la aplicación de 2 hilos de guarda, colocados sobre los conductores a una altura igual a 2/3 de la distancia entre los conductores. La distancia entre los hilos de guarda debe ser igual a la existente entre los conductores. El ángulo protector resulta de 36º
- SCHWAIGER: Determina la zona protectora del hilo de guarda como la zona incluida entre la vertical que pasa por el cable y el arco que pasa por el mismo cable y es tangente a la tierra. El radio del arco es igual a la altura del hilo sobre tierra. La zona de protección entre 2 hilos de guarda es la semicircunferencia de diámetro C igual a la distancia entre los mismos y cuyos puntos extremos coinciden con dichos hilos de guarda. Más claramente, la zona protegida por los hilos de guarda, está determinada por círculos de radios iguales a la altura sobre el suelo del hilo de guarda. La zona propiamente protegida, está aún disminuida por una zona de dispersión que hay que tomar en cuenta con un ancho del 2 al 4 % del radio correspondiente
- LANGREHR: Determina la zona protegida por el hilo de guarda de manera similar a Schwaiger, solamente que los centros de los arcos deben ser el doble de la altura del hilo de guarda sobre tierra.
- GRÜNEWALD: Recomienda asumir el ángulo protector de 32º.

3.2.4.3. Hilo de guarda con fibra óptica

Un cable de guarda con fibra óptica (también conocido como OPGW o en el estándar IEEE, un cable de guarda aéreo compuesto con fibra óptica) es un tipo de cable que se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica. Tal cable combina las funciones de conexión a tierra y de

comunicaciones. Un cable OPGW contiene una estructura tubular con una o más fibras ópticas en el mismo, rodeadas por capas de hilos aluminio y acero. Ver figura en el anexo 2.

El cable OPGW se instala entre la parte superior de las estructuras de alta tensión. La parte conductora del cable sirve para unir las puestas a tierra de las estructuras adyacentes, protegiendo a las estructuras de las descargas atmosféricas. Las fibras ópticas dentro del cable se utilizan para la transmisión de datos a alta velocidad, ya sea para uso propio del sistema eléctrico de protección y control de la línea de transmisión, para la comunicación de voz y datos, o pueden ser alquilados o vendidos a terceros para servir como una interconexión de fibra de alta velocidad entre diferentes ciudades.

La fibra óptica en sí está aislada del resto del conductor aéreo de la línea de transmisión eléctrica, por lo que protege las señales que transmite contra la inducción producida por una descarga atmosférica, el ruido externo y la diafonía. Típicamente los cables OPGW contienen fibras ópticas monomodo con baja pérdida de transmisión, lo que permite la transmisión a larga distancia y alta velocidad. La apariencia externa de OPGW es similar a un conductor ACSR o, generalmente utilizado como conductor de transmisión eléctrica.

Una utilidad puede instalar muchas más fibras de lo que necesita para sus comunicaciones internas, tanto para permitir a las necesidades futuras y también para arrendar o vender a las compañías de telecomunicaciones. Las tasas de alquiler para estos “fibras oscuras” (repuestos) pueden proporcionar una valiosa fuente de ingresos para la compañía eléctrica. Sin embargo, cuando se han expropiado los derechos de vía de una línea de transmisión de los terratenientes, de vez en cuando los servicios públicos se han restringido de tales contratos de arrendamiento sobre la base de que el derecho de paso original sólo se concedió para la transmisión de energía eléctrica [5].

3.2.5. Puesta a tierra

Podemos definir la puesta o conexión a tierra como la conexión eléctrica directa de todas las partes metálicas de una instalación, sin fusibles ni otros sistemas

de protección, de sección adecuada y uno o varios electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficies próximas al terreno, no existan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o la de descarga de origen atmosférico.

Los objetivos principales de una puesta a tierra se pueden resumir en lo siguiente:

- Permitir la conducción a tierra de cargas estáticas o descargas eléctricas atmosféricas.
- Limitar a niveles seguros los valores de la tensión a tierra de equipos o estructuras accidentales energizados y mantener en valores determinados la tensión fase tierra de sistemas eléctricos, fijando los niveles de aislamiento.
- Limitar las tensiones debidos a maniobras.
- Limitar la tensión debido al contacto no intencional con sistemas de mayor tensión.
- Permitir a los equipos de protección aislar rápidamente las fallas.

Ahora bien, para realizar adecuadamente estas funciones, una puesta a tierra debe presentar las siguientes características:

- Preferiblemente una baja resistencia.
- Una suficiente capacidad de conducción de la corriente.

En general, se espera que una puesta a tierra tenga suficiente capacidad de dispersión de corriente en el suelo, y que a su vez limite los potenciales en su superficie (control de gradiente de potencial), de tal manera que no comprometan la seguridad de las personas por causa de una falla a tierra.

3.2.5.1. Composición de una puesta tierra

- El terreno.

- Tomas de tierra.
- Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- Borne principal de tierra.
- Conductor de protección.
- Conductor de unión equipotencial principal.
- Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- Masa.
- Elemento conductor.
- Canalización metálica principal de agua.

3.2.5.2. Tensión de contacto

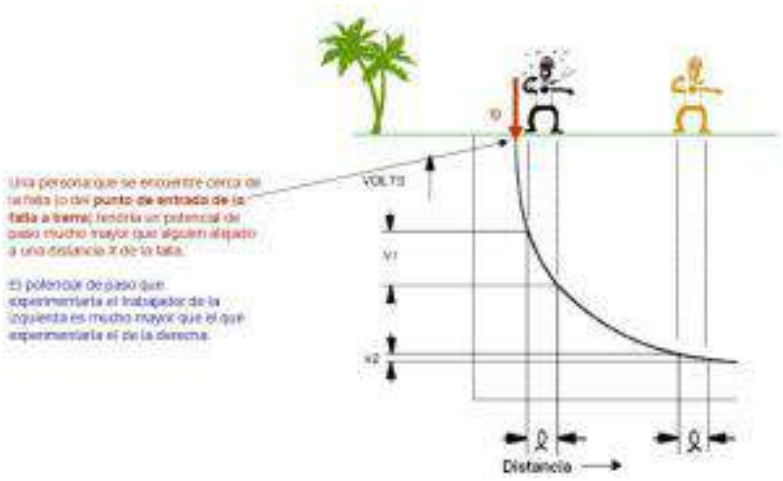


Figura 3.6 Tensión de contacto

Cuando durante una inyección de corriente a tierra una persona hace contacto con una superficie metálica puesta a tierra que estará a un potencial igual al de la máxima elevación del potencial a tierra de la malla de puesta a tierra, mientras está parada en un punto del suelo, que estará a un potencial menor, queda sometida entre el punto de contacto (probablemente su mano) y el punto de apoyo en el suelo (probablemente sus pies) a una tensión de contacto.

Por lo tanto, se puede decir de manera resumida, que la tensión de contacto es aquella que se aplica al cuerpo al tocar un equipo puesto a tierra, estando parado en el suelo, cuando se disipa corriente a tierra en las cercanías [6].

3.2.5.3. Tensión de paso

Es la tensión a que quedaría sometida una persona al dar un paso mientras se está inyectando corriente en el área en que se desplaza, dados los gradientes de potencial en la superficie del suelo. Los pies cierran circuito a través del cuerpo, entre puntos a diferente potencial. Se puede decir de manera resumida, que la tensión de paso es aquella que se aplica al cuerpo cuando los pies se encuentran a una distancia de aproximadamente 1.0 m, cuando se disipa corriente a tierra en las cercanías [6].

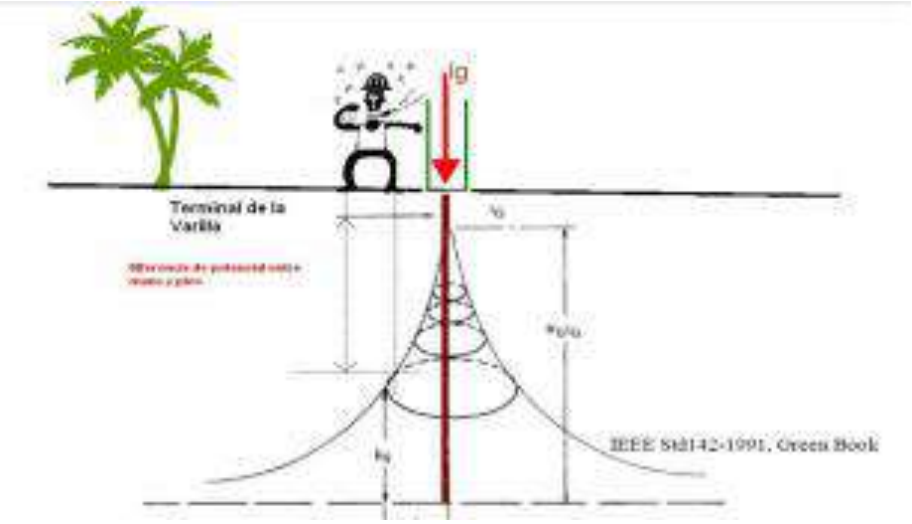


Figura 3.7 Tensión de paso

3.2.5.4. Resistencia de puesta a tierra

La resistencia de puesta a tierra establecida como referencia para los sistemas de distribución es de 10 Ohmios. Sin embargo, dado que técnica y económicamente en algunos sitios del sistema que poseen altos valores de resistividad del suelo, será impráctico obtener dicho valor [6].

CAPÍTULO 4

SERVICIO ELÉCTRICO

4.1. Concepto sobre las cargas

La determinación de las cargas eléctricas es el punto de partida para la solución de problemas técnicos y económicos complejos, relacionados con el proyecto y ejecución de redes de distribución. La carga se puede definir como la cantidad que caracteriza el consumo de potencia por parte de receptores o consumidores de energía eléctrica. Un receptor es un consumidor individual y un consumidor es un grupo de receptores [1].

La electrificación puede atender en general los siguientes tipos de cargas:

- Residencial: urbana, suburbana y rural. La carga residencial tiene la menor densidad respecto a la carga comercial e industrial y decrece de la urbana a la rural, de tal forma que resulta poco económica la electrificación rural, aunque se justifica desde el punto de vista social
- Carga comercial: áreas céntricas, centros comerciales y edificios comerciales. Las densidades de carga en estos casos son mayores.
- Carga industrial: pequeñas industrias y grandes industrias. Algunas veces la carga industrial se incluye en las cargas comerciales. La carga industrial en general puede tener grandes potencias y contratar el servicio en altas tensiones.

5.2.5. Fuera de servicio

Los fueras de servicio son eventos que ocurren cuando ocurre una falla en el alimentador o en cualquier parte del sistema eléctrico, muchas veces es el resultado de la actuación de las protecciones que cumplen la función de proteger al sistema y otras veces un fuera de servicio significa que un componente del sistema eléctrico dejo de funcionar. En cualquiera de los casos los fueras de

servicios son eventos desagradables y molestosos tanto a los usuarios como a la empresa concesionaria que debe preocuparse por encontrar el problema, solucionarlo y restablecer el servicio eléctrico.

5.2.6. Confiabilidad en los sistemas eléctricos

La confiabilidad de los sistemas eléctricos es una herramienta que se inició desde hace mucho tiempo, pero en los últimos años se le ha dado mucha importancia porque algunos clientes de energía eléctrica requieren para sus cargas, sistemas de suministro eléctrico con una continuidad casi perfecta.

La confiabilidad es un aspecto que se trata con mucha discreción, porque es un modo de definir o evaluar el funcionamiento de un sistema eléctrico, de un proceso, de un subsistema y hasta de un grupo de personas. También es la forma de evaluar un producto y así poder definir si es rentable para el desarrollo de las actividades de una empresa. Por tanto, los índices de confiabilidad en muchas empresas son confidenciales.

La Confiabilidad es un tema que siempre se ha mezclado con la Calidad de la Energía. En los últimos años se está presentando una creciente necesidad de los clientes de suministro eléctrico por una onda de voltaje casi pura, y el uso creciente de cargas de equipos electrónicos delicados, en donde las impurezas en la forma de onda de voltaje y las interrupciones en el suministro eléctrico serán temas que reducen la confiabilidad de las redes eléctricas.

La Confiabilidad también es una herramienta muy poderosa para justificar una inversión, basada en el comportamiento real de un sistema actual y futuro.

5.2.7. Calidad del servicio eléctrico

La energía eléctrica representa el principal insumo que mueve al mundo industrial; sin ella, nuestras empresas se detendrían y las economías enteras entrarían en crisis. Por eso es vital saber administrarla. Aproximadamente el 55%

de la energía eléctrica producida es consumida por los sectores comercial e industrial. Por lo tanto el buen uso de la energía eléctrica le permite, a su empresa, ser cada vez más competitiva, en una economía que tiende a la globalización, así el ahorro de energía es una alternativa viable para reducir costos de operación y mejorar los niveles de competitividad dentro del mundo industrial. La calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario; esto referido a la estabilidad del voltaje, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Asimismo se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica en las empresas es la calidad de esta, pues influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que la usan. Actualmente, la calidad de la energía es el resultado de una atención continua; en años recientes esta atención ha sido de mayor importancia debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, las cuales por sí solas, resultan ser una causa de la degradación en la calidad de la energía eléctrica.

La calidad de servicio viene configurada por el siguiente contenido:

- Continuidad del suministro, relativa al número y duración de las interrupciones del suministro.
- Calidad del producto, relativa a las características de la onda de tensión.
- Calidad en la atención y relación con el cliente, relativa al conjunto de actuaciones de información asesoramiento, contratación, comunicación y reclamación.

5.2.8. ¿Problema en la calidad de la energía eléctrica?

Podemos decir que existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía

o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del flujo de energía eléctrica. Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort.

5.2.9. Importancia actual

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de productividad y competitividad de las empresas. Asimismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad. Para aumentar la competitividad las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Usando equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatizando sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reduciendo los costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reduciendo las pérdidas de energía.
- Evitando los costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitando el envejecimiento prematuro de los equipos. La proliferación de equipos de control y automatización han aumentado los problemas de confiabilidad en la producción. Pues los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica pues distorsionan las ondas de tensión y corriente.

Por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión o magnitud de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar fallas que paralicen la producción ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados. Entonces hay

que convivir con el problema y encontrarle soluciones cada vez más óptimas, para lo cual el estudio de los fenómenos de la calidad de la energía es indispensable [7].

5.2.9.1. Indicadores de la calidad del servicio eléctrico

Los indicadores de la calidad de Servicio Técnico evalúan la continuidad del servicio de energía eléctrica que la Distribuidora brinda a los usuarios, midiendo los parámetros de frecuencia media de Interrupciones, tiempo total de Interrupción y la energía no suministrada. Se considerará como interrupción toda falta de servicio de energía eléctrica en el punto de entrega.

5.2.10. Indicadores de la continuidad del servicio (FEP-DEP)

5.2.10.1. FEP (frecuencia equivalente de potencia)

Es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión, en un periodo de tiempo considerado, la fórmula empleada es:

$$\mathrm{FEP} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{Pi})}{\mathrm{Pot.\,Instalada\ total}}$$

En donde:

$\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{Pi})$ = Sumatoria de todas las potencias individuales, en kVA, afectadas por una interrupción

$\mathrm{Pot.\,Instalada\ total}$= Potencia instalada total, en kVA, del sistema eléctrico en estudio.

5.2.10.2. DEP (Duración equivalente de potencia)

Es la duración de interrupciones equivalente de la potencia instalada en media tensión, en un periodo de tiempo considerado, la fórmula empleada es:

$$\mathrm{DEP} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{Pixti})}{\mathrm{Pot.\,Instalada\ total}}$$

En donde:

$\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{Pixti})$= Sumatoria de todos los productos de las potencias individuales, en kVA, por el tiempo de la interrupción, en horas.
$\mathrm{Pot.\ Instalada\ total}$= Potencia instalada total, en kVA, del sistema eléctrico en estudio

CAPÍTULO 5

NORMATIVA

5.1. Normativa internacional

A nivel internacional existen múltiples organizaciones dedicadas a la elaboración de normas dirigidas al diseño de redes de distribución y de igual manera sugieren la óptima selección, ubicación y aplicación de los elementos de protección contra descargas atmosféricas.
A continuación se hace mención de algunos entes dedicados a sugerir y emitir normativas con respecto al diseño y protección de redes de distribución como Eléctrical and Electronic Engineers Institute (IEEE), e International Electrotechnical Commission (IEC).

A continuación se presentan normas que hacen referencia a la protección de sistemas de distribución y estas son:
IEEE C62.22 Guide for the Application of Metal Oxide Surge Arresters for AC Systems, Section 6.
IEEE 1410-2010 Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 6

6.1. Descripción del trabajo

El proyecto final de grado se enfoca en mejorar el desempeño del alimentador en 23 kV SES01 de la estación San Estanislao, para ello se tuvo que realizar varias visitas a las oficinas de la ANDE con el fin de entrevistar a los funcionarios del área de distribución, con ayuda de estas entrevistas se espera poseer un conocimiento más detallado y especifico del alimentador.

En el proyecto para mejorar el rendimiento del alimentador SES01 se manejan dos alternativas cuyo objetivo principal es la de evitar la ocurrencia de averías en el conductor estudiado, para llegar a estas alternativas se tuvo que encontrar los principales problemas que generaron los fuera de servicio, para tal efecto se recorrió el alimentador en toda su extensión con ayuda de un asistente, se llenó la planilla de relevamiento de datos, la calificación del estado de los componentes se realizó por inspección. Posteriormente se procedió a relevar los datos existentes en la Estación de San Estanislao con ayuda del operador de turno.

Al poseer el proyecto terminado se acude a un especialista en economía para obtener asesoramiento y realizar el análisis económico de cada alternativa.

6.1.1. Métodos y técnicas utilizadas

5.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizara durante el proyecto de fin de grado es la investigación aplicada ya que se trata de la aplicación de conocimientos adquiridos. La investigación es descriptiva porque se buscara especificar las propiedades del fenómeno sometido a análisis, es decir, se medirán y evaluaran sus diferentes aspectos.

5.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos que fueron aplicadas en este proyecto de final de grado serán las siguientes:

- Recopilación documental: esta técnica brindara la posibilidad de recoger informaciones bibliográficas, en el presente estudio se efectuara mediante la revisión de textos, trabajos de investigación, revistas, páginas web, normas y reglamentos.
- La entrevista no estructurada: donde es un acto de comunicación no planeado con el cual se obtendrá información clara, real, objetiva del tema en estudio, se aplicara al personal técnico y todos aquellos relacionados al área de estudio y con el cual permitirá ampliar la información sobre el alimentador SES01
- La observación: mediante la observación se obtendrá información del estado del alimentador SES01

Las especificaciones técnicas que se tendrán en cuenta para los análisis realizados serán las provistas por ANDE, así como las estructuras a ser utilizadas.

5.4. Métodos y análisis de datos

En el análisis de los datos serán aplicados tanto el análisis cualitativo porque tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno como el análisis cuantitativo porque permite examinar los datos de manera numérica.

5.5. Fases de la investigación

Durante el desarrollo del proyecto de fin de grado se realizarán las siguientes fases de actuación

- **Fase I: Recolección de datos**

Para obtener los datos que se necesitaran en este proyecto final de grado se recurrirá a los registros existentes en los archivos de la ANDE, se realizara una revisión a los datos que se tienen para asegurar su validez. También se realizará un recorrido al alimentador SES01 para observar el estado en el que se encuentran los componentes del alimentador como los conductores, postes, descargadores, puesta tierra, seccionadores e hilo de guarda, se deberá tener en cuenta las condiciones actuales de trabajo a la que se encuentra el alimentador. Para saber el recorrido que posee el alimentador se recurrirá a la ayuda del personal de ANDE con acceso a un programa informático llamado Gis Smallworld.

- **Fase II: Analizar las causas de los fueras de servicio**

Se llevara a cabo un análisis que permitirá revelar las principales causas que ocasionaron los fueras de servicio en el alimentador SES01, para dicho efecto se deberá recurrir al local de la estación San Estanislao y solicitar al personal de dicho local acceder al libro de novedades del lugar, posteriormente se realizara un recuento de cada uno de los fueras de servicio y discriminarlos en diferentes categorías según las causas que los ocasionaron. Con este proceso podremos apreciar cuales son los principales motivos que generaron los fuera de servicio, eso nos permitirá establecer las causas y plantear las alternativas de solución. Una vez conocidas las principales causas que generan los fueras de servicio se debe realizar una evaluación a todos los componentes del alimentador y fijar los criterios con los cuales se realizara dicha evaluación. Obtener esta información será de vital importancia ya que nos posibilitara comprender si los inconvenientes se deben a factores externos o al mal funcionamiento de los componentes del alimentador.

- **Fase III: Análisis de alternativas para el mejoramiento del desempeño del alimentador SES01**

En esta fase del proyecto final de grado se realizará una investigación para determinar cuáles serán las alternativas para el mejoramiento del desempeño del alimentador SES01. Una vez determinada cuáles serán las alternativas, se procederá a hacerse un análisis de las mismas teniendo en cuenta que se debe hacer un exhaustivo y minucioso trabajo para tomar esta decisión. El estudio debe revelar cuál es la mejor y más favorable alternativa para corregir los fueras de servicio y mejorar la calidad del servicio a los clientes en lo referente a evitar la ocurrencia de fueras de servicios. En el análisis y planteamiento de cada alternativa se cumplirá todo lo establecido en el reglamento de MT de la ANDE.

- **Fase IV: Evaluación económica de alternativas.**

En esta fase del proyecto final de grado se procederá a realizar la evaluación económica de cada alternativa definida en la Fase II, mediante los métodos de TIR, Beneficio/Costo y Retorno de la inversión, se evaluaran la rentabilidad de las diferentes alternativas seleccionadas. Algunos componentes del flujo de caja para la realización de esta evaluación económica tendrán un monto exacto pero otros serán estimados.

6.2. JUSTIFICACION

La búsqueda del mejoramiento en la calidad de la energía eléctrica y la continuidad del servicio son sin duda algunos de los temas más atractivos en la actualidad, debido a que el confort de la sociedad es en gran parte gracias a los equipos eléctricos o electrónicos que estos poseen, nos volvimos un mundo dependiente de la energía eléctrica y su usos, la importancia de la energía eléctrica es indiscutible, no se encuentra en tela de juicio, por lo que lograr el óptimo funcionamiento del sistema eléctrico es una necesidad.

El hecho de investigar y conocer las causas que ocasionaron las actuaciones de las protecciones del alimentador en 23 kV SES01 es fundamental porque permite conocer las razones de las interrupciones, estas causas a medida que pasa el tiempo se acentúan y generan más perdidas por lo que aplicar las medidas

correctivas al alimentador es primordial para solucionar los fueras de servicio, mejorar la calidad del servicio a los clientes y la empresa concesionaria reducirá sus gastos, tanto por energía no suministrada como gastos a causas de los mantenimientos y puesta en servicio del alimentador, además ayudara a salvaguardar la integridad del sistema eléctrico ya que las fallas producen desgastes tanto en las protecciones como en el resto del sistema.

Al mejorar la calidad del servicio y al disminuir las perdidas por energía no facturada se hace notorio que el trabajo beneficiara a ambas partes, tanto a los usuarios que disfrutan la energía eléctrica, como a la Ande empresa que es la encargada de distribuir y brindar un servicio de calidad.

6.3. Finalidad del proyecto

Con la elaboración de este proyecto final de grado se pretende:

- Mejorar la calidad y confiablidad del servicio de energía eléctrica para los usuarios del alimentador SES01

- Evitar o disminuir la ocurrencia de fueras de servicio en el alimentador

- Salvaguardar la integridad de los componentes de la línea de distribución

6.4. Metas

- Desarrollar las alternativas para mejorar el rendimiento del alimentador SES01.
- Mejorar el servicio de energía eléctrica proporcionado por el SES01.

6.5. Objetivos

6.5.1. Objetivos generales

Analizar las alternativas para el mejoramiento del desempeño del alimentador en 23 kV SES01 de la Estación San Estanislao.

6.5.2. Objetivos específicos

- Relevar y analizar las causas que provocan la actuación de las protecciones del alimentador SES01 en la estación San Estanislao.
- Definir las alternativas posibles para el mejoramiento del desempeño del alimentador SES01.
- Realizar evaluación económica de las alternativas

6.6. Beneficiarios

El proyecto en cuestión beneficiara en forma directa a la ANDE y a los usuarios conectados al alimentador en 23kV SES01, dicho alimentador es el encargado de suministrar energía a las localidades de Takuara, Calle 2000, Calle 6000, Guayaibi, Bertoni, Calle San Miguel, Almeidacue y Maria Auxiliador, de esta forma se brindara una mayor calidad y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.

6.7. Producto

El principal producto es la elaboración del proyecto ejecutivo de retendido de hilo de guarda y mantenimiento al alimentador SES01 para mejorar la calidad del servicio brindado a los usuarios.

6.8. Localización física y cobertura espacial

El alimentador cuyo rendimiento se quiere mejorar corresponde al SES01, el cual tiene un recorrido de 36 km, desde Takuara, hasta alcanzar el Barrio San Pedro en donde termina su servicio, este alimentador se encuentra conectada a la Estación Transformadora de la ANDE ubicada en la ciudad de San Estanislao, específicamente en la localidad de tacuara, posee 5 alimentadores que son aéreos con un sistema de distribución basada en conductores desnudos, siendo subterráneas en las salidas de la estación con conductores de 240mm². Los detalles del recorrido descrito por el alimentador se encuentran en el apéndice A.1.

6.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

- Revisión bibliográfica acerca de los indicadores de la calidad del servicio, normas aplicadas, consulta de textos especializados en el diseño y los métodos para el análisis económico del proyecto, así como los materiales de las líneas de distribución aérea de MT protegida.
- Luego de llevar a cabo el estudio y la revisión bibliográfica necesaria para el desarrollo del proyecto de fin de grado, se procederá a obtener el croquis orientativo del trayecto seguido por el alimentador SES01, de tal manera a poder realizar posteriormente el levantamiento de campo proyecto de fin de grado.
- Con la finalidad de identificar y delimitar el aérea en estudio, se examina el plano obtenido del trayecto recorrido por el SES01, empleando la

técnica de la observación se valida la información que se cuenta en los planos.

- Una vez validada éstas informaciones se procederá a realizar el levantamiento de campo de las líneas aéreas de distribución de MT desnudos, desde el inicio de la línea, mediante la técnica poste a poste hasta llegar al final del alimentador, con todos los datos recabados se va realizando el plano correspondiente de los alimentadores aéreos de distribución de MT
- Una vez culminado el levantamiento respectivo y realizado el plano en el campo, se procede a digitalizarlo empleando como herramienta el programa AutoCAD.
- Se realizó el desarrollo de las dos alternativas propuestas.
- Para la lista de estructuras de ambas alternativas se tendrán en cuenta las especificadas en los procedimientos para la elaboración de proyectos de líneas de distribución alimentadoras que provee la ANDE.

- Una vez completado el desarrollo de ambas alternativas, se procedió a realizar el análisis económico para cada opción, flujo de caja proyectada, TIR, VAN.

- Al finalizar todas las tareas y actividades anteriores, se procederá a realizar la presentación del informe final en el formato establecido.

Exposición de las principales actividades y tareas que se realizaron para la resolución del problema planteado en el PFG. Se las cita solamente.

6.10. Recursos necesarios

6.10.1. Recursos humanos

El trabajo final de grado será realizado por alumno de la carrera de Ingeniería Eléctrica y un ayudante para poder llevar a cabo el levantamiento de campo, también se contará con la guia del Ingeniero tutor y el asistente del proyecto final de grado

6.10.2. Recursos materiales

- Computadora
- Impresora
- Papel
- Útiles de oficina
- Cámara Fotográfica
- Internet
- Vehículo

6.11. Factibilidad técnica

Ambas alternativas son técnicamente factibles, en el caso de la alternativa número 1, se reutilizara gran parte de las estructuras ya existentes, en cambio, en la alternativa número 2 se deberán cambiar algunas estructuras para que esta sea factible. Con las dos alternativas se logra:

- Se reduce la cantidad de fueras de fueras de servicio en el alimentador.

- Se mejora la calidad y confiabilidad del sistema de distribución de media tensión.

- Se reducen las perdidas por energía no facturada

6.12. Factibilidad económica

6.12.1. Beneficios

6.12.1.1. Reducción de los fueras de servicio

Con la implementación de cualquiera de las soluciones propuestas en este proyecto final de grado se lograra una mejora muy importante en cuanto a los problemas de los fueras de servicio del alimentador en 23 kV SES01, debido a que ambas alternativas propuestas atacan a los principales causantes de los fueras de servicio, se plantea una disminución del 87 % de las averías presentadas en la actualidad.

6.12.1.2. Disminución de los indicadores de la calidad del servicio

El alimentador en 23 kV SES01 posee unos valores elevados de FEP y DEP en comparación a los valores que presentan los demás alimentadores de la Estación San Estanislao, inclusive, la sumatoria de los indicadores de los demás alimentadores es aproximadamente igual a los índices del SES01.
Con la implementación de cualquiera de las dos alternativas analizadas en este proyecto final de grado se presenta una disminución considerable.

Indicadores de Calidad			
	Estado Actual	Soluciones Sugeridas	Diferencia

FEP	14.13	1.83	12.3
DEP	6.95	0.9	6.05

Tabla 6.1 Indicadores de Calidad

6.1.1.1. Menos pérdidas por energía no facturada

Con todos los fueras de servicio que sufrió el alimentador, no solo se vio perjudicado el usuario, también la empresa distribuidora ANDE sufrió pérdidas, estas pérdidas pueden ser evitadas implementando alguna de las soluciones analizadas este proyecto final de grado, al disminuir las causantes de averías en el alimentador se reduce la perdida por energía no facturada.

6.1.2. Costos

6.1.2.1. Costos de la implementación de alimentador con Línea Protegida y retiro de conductores desnudos.

Para realizar el proyecto de cambio de un sistema de distribución aérea a otra se tuvo que analizar varios factores que influyen en su factibilidad, tales como realizar el estudio del costo de materiales, mano de obra para el retiro de los conductores desnudos existentes y para la implementación del nuevo sistema de distribución aérea. En la siguiente tabla se puede observar el costo total de los materiales a ser implementados en el nuevo sistema de distribución aérea y en el Apéndice A.2 pueden observarse los detalles de la lista de materiales para esta alternativa.

Total materiales (Gs.)	**3,459,572,763**

Tabla 6.2 Costo total de materiales

Teniendo los datos de los costos de materiales, equipos y mano de obra, en el cual se incluye el retiro de las estructuras convencionales y de los conductores desnudos, colocación de nuevos postes, montaje de las nuevas estructuras, el tendido de los conductores protegidos; así como también dentro de estos costos se incluirá 15% para gastos administrativos y 5% para los imprevistos que puedan surgir durante el desarrollo del proyecto.

Total materiales	3,459,572,763
Total mano de obra	3,206,871,304
SUB TOTAL (Gs.)	**6,666,444,067**
Gastos administrativos 15 %	999,966,610
Imprevisto 5 %	333,322,203
TOTAL (Gs.)	**7,999,732,880**

Tabla 6.3 Costo total del proyecto de sustitución de línea de distribución aérea convencional a un sistema con conductores protegidos en MT

6.1.1.1. Costos de la implementación del Sistema de hilo de guarda y mantenimiento general

6.1.2. Evaluación económica

ALTERNATIVA 1

6.1.2.1. Determinación del flujo de caja proyectada

6.1.2.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

6.1.2.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

6.1.2.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

ALTERNATIVA 2

6.1.1.1. Determinación del flujo de caja proyectada

Concepto	Año 0	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Inversion	7,999,732,880						
Ahorro	136286850	142406129.6	148800164.8	155481292.2	162462402.2	169756964.1	177379051.7
Total	-7863446030	-7721039900	-7572239736	-7416758443	-7254296041	-7084539077	-6907160025

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
185343371.2	193,665,289	202,360,860	211,446,863	220,940,827	230,861,070	241,226,732	252,057,813	263,375,209
-6721816654	-6528151365	-6325790505	-6114343642	-5893402814	-5662541744	-5421315012	-5169257199	-4905881990

6.1.1.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

Para calcular el valor del TIR para la alternativa 2 se consideró una proyección de 15 años, debido a que es el tiempo de vida útil de los sistemas de distribución, con una tasa de descuento de 12 %, el flujo de caja para dicha alternativa solo arrojo valores negativos, por lo que resulto imposible calcular el valor del TIR

6.1.1.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

6.1.1.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

7. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 7

7.1. Alimentador en 23 kV SES01 – Estación San Estanislao

El alimentador SES01 en 23 KV es uno de los 5 alimentadores de la Estación San Estanislao, dicho alimentador es una red con sistema trifásico y con hilo de guarda que presenta una cantidad elevada de fueras de servicio.

En los archivos pertenecientes a la ANDE sobre el alimentador SES01 se observó que los valores de los indicadores de la calidad del servicio FEP y DEP en los años 2014 y 2015 son elevados en comparación a los restantes alimentadores de la misma estación como se puede observar en la siguiente tabla.

Año 2014-2015	FEP	DEP
4 alimentadores	4,98	8,53
SES 1	14,13	6,95

Tabla 7.1: Valores de FEP y DEP de la Estación San Estanislao

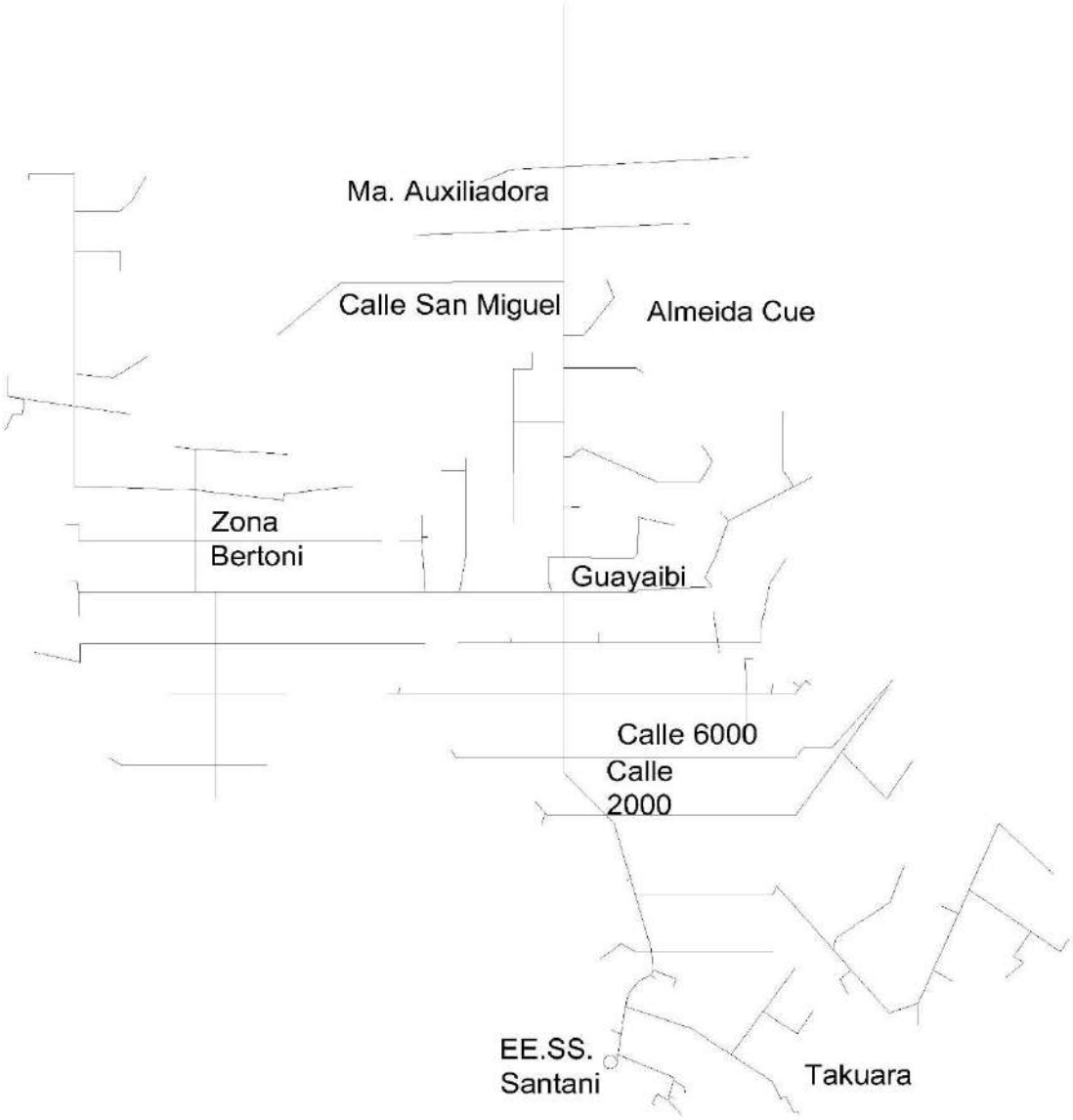


Figura 7.1: Representación del tramo recorrido por el alimentador en 23 kV SES01

En la Figura 7.1 se tiene una representación esquemática del alimentador en estudio, obtenido del programa

7.2. Recolección de datos sobre el alimentador en 23 kV SES01

El alimentador en 23 kV SES01 tiene una salida subterránea de la Estación de San Estanislao, un sistema trifásico con hilo de guarda con 36 km de longitud, el alimentador cuenta con un troncal de 150 mm2, mientras que el ramal de dicho alimentador es de 35 mm2 y posee estructuras tipo MTHHº1, MTHHº2, MTHHº3, MTHHº4, MTHHº5, MTHHº6, MTHHº7 como puede observarse en la siguiente tabla.

Tipo de estructuras	Cantidad
MTHHº1	738
MTHHº2	20
MTHHº3	7
MTHHº4	3
MTHHº5	1
MTHHº6	8
MTHHº7	2

Tabla 7.2: Cantidad de estructuras en el SES01

7.2.1. Estado de los componentes del alimentador SES01

Se realizó un recorrido a lo largo del alimentador en 23 kV SES01 con ayuda de un asistente, a fin de conocer exactamente el estado en el cual se encuentran los componentes del ya mencionado alimentador.

En dicho recorrido se pudo observar que el alimentador cuenta con componentes averiados y en mal estado. Se utilizó una planilla para el levantamiento de datos físicos del alimentador, en el Apéndice B.1 se encuentra un modelo de la planilla utilizada.

En la tabla 7.2 se puede apreciar el resultado del levantamiento realizado.

Empalmes	**89**
Hilo deshilachado	**3**
Crucetas en mal estado	**21**
Aisladores en mal estado	**11**
Hilos de guarda sueltos	**560**
Postes en mal estado	**2**
Mano francesa	**7**
Bayoneta en mal estado	**14**

Tabla 7.2: Resultados de los componentes en mal estado del alimentador SES01.

Durante el recorrido realizado al alimentador se pudo apreciar que los conductores bajantes a tierra del hilo de guarda en su mayoría ya no estaban en donde fueron instalados, se encontraban cortados, lo que ocasiona que el hilo de guarda se encuentre desconectado del respectivo sistema de tierra.

7.2.2. Equipos de protección en línea sobre el alimentador SES01

En el recorrido realizado al alimentador en estudio se pudo observar que dicho alimentador no posee equipos de protección que ayuden a minimizar los efectos de los fueras de servicios en las troncales, por tanto un fuera de servicio en cualquier punto del tramo recorrido por la troncal del SES01 afecta al alimentador en su totalidad, lo que ocasiona una mayor demora en la puesta en servicio y una mayor cantidad de pérdidas por energía no facturada ya que el personal de la cuadrilla debe recorrer todo el alimentador en busca de dicha avería.

7.2.3. Fueras de servicio en el alimentador SES01

7.2.3.1. Motivos

Se procedió a realizar una visita a la Estación de San Estanislao, en compañía del operador de turno se pudo acceder a la información existente en el libro de novedades de dicho recinto con referencia al alimentador en 23 kV SES01, esta información fue registrada en una planilla de motivos de averías, véase en el apéndice B.2 mediante esta planilla de averías se pudo conocer los diferentes motivos que llevaron al alimentador a un estado de fuera de servicio, tal trabajo arrojo los siguientes resultados.

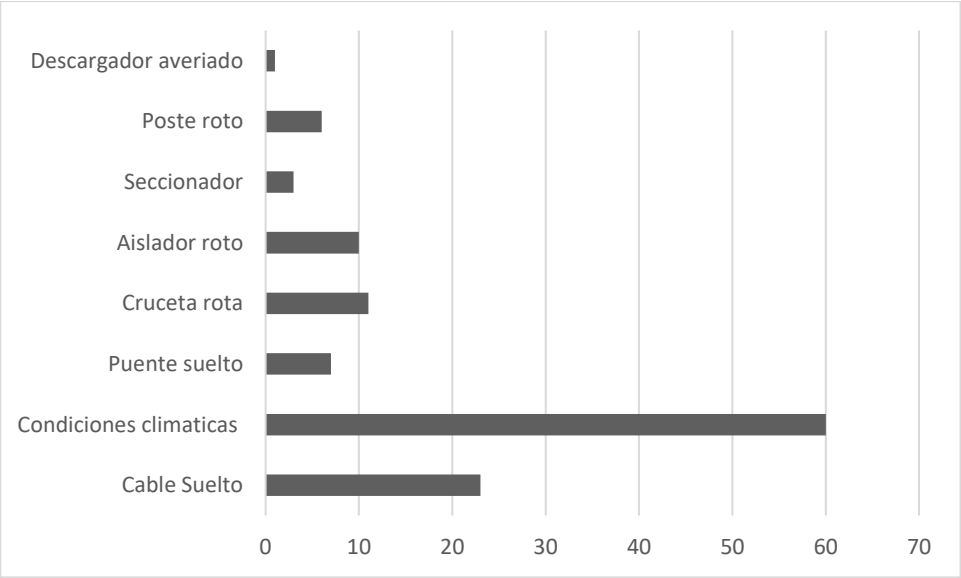


Figura 7.2: Motivos de fuera de servicios del SES01 años 2014-2015

En la Figura 6.2 se puede observar que en el libro de novedades de la Estación San Estanislao los principales motivos registrados son las condiciones climáticas, los cables sueltos, aisladores rotos y crucetas rotas.

7.2.3.2. Análisis de las causas de los fueras de servicio en el alimentador.

Con la información obtenida del libro de novedades en la estación San Estanislao se pudo ver que el principal motivo de los fueras de servicio son las condiciones

climáticas, los cables sueltos, aisladores rotos y crucetas rotas, pero dicho libro no es muy específico en cuanto a los detalles de los eventos. A este respecto se le entrevisto al operador de turno de la estación San Estanislao, quien manifestó que el personal de ANDE encargado de registrar los eventos no tiene la posibilidad de acceder a toda la información de los fueras de servicio, lo que ocasionaría que algunas veces se equivoquen al momento de completar los registros, esto hace que la información obtenida del libro de novedades de la estación no sea medianamente confiable para realizar los análisis de los fueras de servicio.

Para subsanar este inconveniente, se ha realizado una visita a la Agencia regional de la ANDE en la ciudad de San Estanislao, específicamente en la Sección de Reclamos, se pudo realizar una discriminación más específica de las causas que ocasionaron los fueras de servicio gracias a los datos del libro de novedades de dicho establecimiento, tal información es relevada por funcionarios de las cuadrillas, estos mismos funcionarios son los encargados de solucionar la avería y reanudar el servicio eléctrico en el alimentador. En la Fig. 6.3 se hace referencia a los factores que incidieron en los fueras de servicio del alimentador SES01 en los años 2014-2015. Actualmente el alimentador tiene una menor longitud debido a la puesta en servicio de la Estación Toro Piru, razón por la cual solo se tuvieron en cuenta los fueras de servicio que ocurrieron en el tramo existente en la actualidad (Takuara - Bº San Pedro).

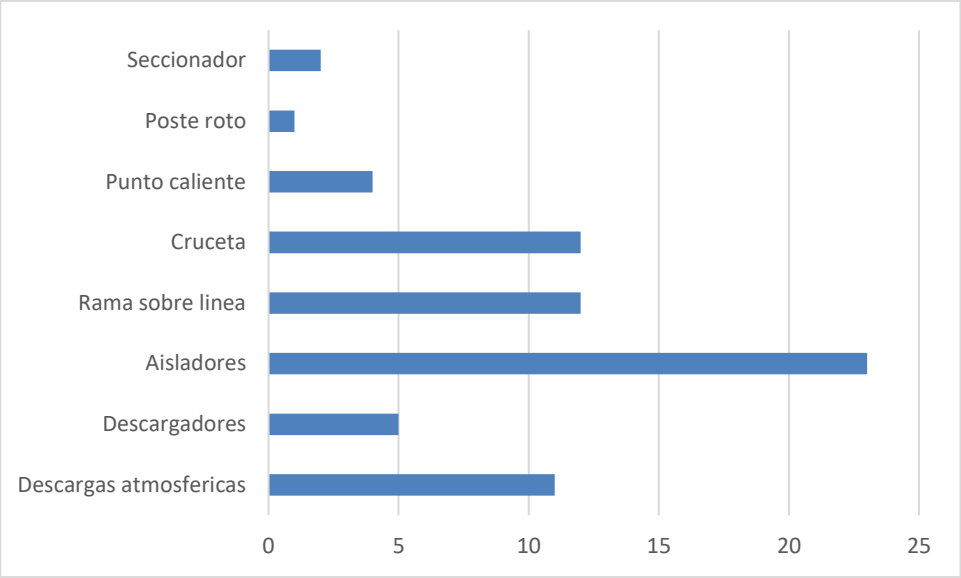


Fig. 7.3: Cantidad de veces por avería en el alimentador SES01

7.2.3.2.1. Distribución geográfica de averías del alimentador SES01

Con la información recabada en la Agencia Regional de San Estanislao se realizó un mapa en el que se ubicaron temáticamente y por zona las averías que se produjeron en el SES01 en el periodo de estudio. Dicho mapa se encuentra en el Apéndice B.3

Se pudo observar que la mayor cantidad de averías se generaron en la troncal del alimentador. En la tabla 7.3 se expresan detalles de dichas averías.

Tipo	Cantidad	%	Posible causa
Aislador roto	19	39	Descarga atmosférica
Cruceta	12	25	Deterioro
Rama sobre línea	6	12	Vientos
Puntos calientes	4	8	Deterioro o sobrecarga
Descargador averiado	5	11	Descarga atmosférica
Postes	1	3	Accidente de transito
Seccionador	1	2	Deterioro

Tabla 7.3: Detalles de resultados para la troncal del alimentador SES01

Podemos observar que la mayor cantidad de averías fue a causa de los aisladores rotos, estos aisladores pudieron romperse como consecuencia de los impactos de las descargas atmosféricas. A los aisladores rotos se le pueden sumar las averías en los descargadores, que también se suponen son a causa de las descargas. De esta forma, tanto los aisladores rotos como los descargadores averiados indicarían que el 50 % de las averías que afectaron al alimentador SES01 son por descargas atmosféricas. Estas averías causadas por las descargas atmosféricas pudieron deberse a la precaria situación del hilo de guarda y también al mal estado en la que se encuentran las puestas a tierra, lo cual fue constatado en ocasión del relevamiento realizado .

Por otro lado., el 25% de los fueras de servicio en el alimentador fue a causa de las crucetas rotas, según personal encargado de las cuadrillas estas crucetas se deterioraron rápidamente debido a la baja calidad de la madera empleada en la elaboración de algunas crucetas utilizadas en el alimentador. También se registraron averías debido a las ramas sobre la línea, esto en un porcentaje de 12% sobre el total de las averías.
Además de los motivos antes mencionados también ocurrieron fueras de servicios por otras causas, como por ejemplo los postes rotos y los seccionadores averiados, pero estas presentaron una menor incidencia sobre el total de las averías ocurridas en el periodo analizado.

7.3. Análisis de alternativas para el mejoramiento del alimentador en 23kV SES01.

7.3.1. Criterios para la selección de las alternativas.

Con base en los principales motivos de los fueras de servicio encontrados en el alimentador SES01 se elaboraron criterios que ayudaran a la selección de las alternativas más convenientes para mejorar el desempeño del alimentador en estudio. En la Tabla 7.4 se muestran las posibles alternativas de solución y los criterios a analizar, en dicha tabla se representa con (X) los criterios que no se satisfacen en una alternativa, y con (√) cuando la alternativa satisface el criterio indicado.

Alternativas de Solución	Criterios de selección		
	Protección contra descargas atmosféricas	Solución a crucetas rotas	Aislación ante ramas
Hilo de guarda y mantenimiento	√	√	√
Línea Protegida	√	√	√

Cambio de cruceta	X	√	X

Tabla 7.4. Tabla de selección de alternativas a analizar para mejorar el desempeño del alimentador SES01

6.1.1. Proyecto de Hilo de guarda y mantenimiento General.

6.1.1.1. Lista de estructuras del alimentador SES01

Se presentan en las siguientes tablas las cantidades y los materiales empleados en cada tipo de estructura a lo largo del alimentador, dicho alimentador cuenta con componentes muy precarios, situación que compromete su buen funcionamiento, por tanto se deben retirar aquellos materiales que estén en mal estado.

Por otro lado, se reutilizaran todos aquellos componentes que se encuentre en las condiciones adecuadas para su funcionamiento.

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
2214	Aislador de perno recto 23 kV
3690	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
738	Arandela a presión 1/2¨
5166	Arandela lisa 5/8¨
738	Bulón de 1/2¨x 1 1/2¨
1476	Bulón de 5/8¨x 4¨
2214	Bulón de 5/8¨x 6 1/2¨

738	Bulón de 5/8¨x 9¨
738	Bayoneta recta para hilo de guarda
738	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.p/p HºAº
1476	Mano francesa p/p HºAº
2214	Perno para aislador de 3/4¨x 11¨
2214	Alambre preformado tope
738	Alambre preformado de protección
738	Pinza sostén de hilo de guarda alineación

Tabla 7.5. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 1

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
120	Aislador de perno recto 23 kV
200	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
60	Arandela a presión 1/2¨
280	Arandela lisa 5/8¨
60	Bulón de 1/2¨x 1 1/2¨
80	Bulón de 5/8¨x 4¨
60	Bulón de 5/8¨x 6 1/2¨
20	Bayoneta recta para hilo de guarda
20	Bayoneta Angulo para hilo de guarda
40	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
80	Mano francesa p/p HºAº
120	Perno para aislador de 3/4¨x 11¨
20	Pinza suspensión hilo de guardia Angulo
20	Alambre preformado de protección
20	Alambre preformado lateral doble
60	Perno separador 5/8¨x 16¨

Tabla 7.6. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 2

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION

126	Aislador a disco de vidrio templado
14	Aislador de perno recto 23 kV
84	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
70	Arandela lisa 5/8¨
28	Bulón de 5/8¨x 4¨
7	Bulón de 5/8¨x 6 1/2¨
14	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
56	Conector a compresión
56	Guarda cabo 3/8¨
28	Mano francesa p/p HºAº
14	Perno recto 3/4¨x 11¨
21	Perno separador 5/8¨x 16¨
56	Alambre preformado de retención
14	Alambre preformado tope
49	Tuerca ojal 5/8¨

Tabla 7.7. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 3

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
54	Aislador a disco de vidrio templado
6	Aislador de perno recto 23 kV
72	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
60	Arandela lisa 5/8¨
24	Bulón de 5/8¨x 4¨
6	Bulón de 5/8¨x 9¨
12	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
24	Conector a compresión
24	Guarda cabo 3/8¨
12	Mano francesa p/p HºAº
6	Perno recto 3/4¨x 11¨
21	Perno separador 5/8¨x 16¨
6	Perno ojal 5/8¨x 8¨
24	Alambre preformado de retención

6	Alambre preformado lateral
18	Tuerca ojal 5/8¨

Tabla 7.8. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 4

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
9	Aislador a disco de vidrio templado
12	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
10	Arandela lisa 5/8¨
4	Bulón de 5/8¨x 4¨
1	Bulón de 5/8¨x 9¨
2	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
4	Guarda cabo 3/8¨
4	Mano francesa p/p HºAº
3	Perno separador 5/8¨x 16¨
1	Perno ojal 5/8¨x 8¨
4	Alambre preformado de retención
3	Tuerca ojal 5/8¨

Tabla 7.9. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 5

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
144	Aislador a disco de vidrio templado
8	Aislador de perno recto 23 kV
96	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
80	Arandela lisa 5/8¨
32	Bulón de 5/8¨x 4¨
8	Bulón de 5/8¨x 9¨
16	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
64	Conector a compresión
64	Guarda cabo 3/8¨
32	Mano francesa p/p HºAº
8	Perno recto 3/4¨x 11¨
24	Perno separador 5/8¨x 16¨
8	Perno ojal 5/8¨x 8¨

64	Alambre preformado de retención
8	Alambre preformado lateral
56	Tuerca ojal 5/8¨

Tabla 7.10. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 6

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
18	Aislador a disco de vidrio templado
32	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
4	Arandela presión 1/2¨
16	Arandela lisa 5/8¨
4	Bulón 1/2¨x 2 1/2¨
8	Bulón de 5/8¨x 4¨
4	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
16	Conector a compresión
8	Guarda cabo 3/8¨
8	Mano francesa p/p HºAº
8	Perno separador 5/8¨x 16¨
8	Alambre preformado de retención
8	Tuerca ojal 5/8¨
4	Abrazaderas varias medidas

Tabla 7.11. Lista de materiales de estructuras tipo MTHHº 7

Además de los materiales mencionados anteriormente, el alimentador SES01 también cuenta con conductores que conforman las líneas de fase y el hilo de guarda. Estos conductores se extienden 36 km, tramo total recorrido por el alimentador.

- Hilo de guarda: Un conductor de 35 mm2 compuesto por una aleación de aluminio.
- Línea de Fase: Tres conductores de 150 mm2, alma de acero

LISTA DE MATERIALES	
CANT.	DESCRIPCION
14	Bayoneta recta para hilo de guarda
31	Cruceta de madera 3¨x 4¨x 2,40 m.
11	Aislador de perno recto 23 kV
7	Mano francesa p/p HºAº
1100	Conductor 35 mm2
14	Arandela presión 1/2¨
14	Pinza sostén de hilo de guarda alineación
14	Bulón 1/2¨x 2 1/2¨
42	Arandela lisa 5/8¨
28	Arandela cuadrada 2¨x 2¨x 11/16¨
28	Bulón de 5/8¨x 6 1/2¨
33	Perno para aislador de 3/4¨x 11¨

Tabla 7.12. Lista de materiales del alimentador a reponer por su mal estado.

6.1.1.2. Hilo de Guarda

6.1.1.2.1. Características y sección del conductor de hilo de guarda

El conductor que se utilizara para reemplazar al antiguo hilo de guarda presenta las siguientes características técnicas y constructivas según especificaciones técnicas.

El conductor está formado por alambres de aleación de aluminio tipo 6201 T81, constituidos por aluminio, magnesio, silicio, tratados en caliente.

6.1.1.2.2. Condiciones de servicio

- Condiciones ambientales

Temperatura máxima del aire:	45 ºC
Temperatura media diaria máxima:	30 ºC
Temperatura mínima del aire:	-5 °C
Humedad relativa ambiente máximo:	100%
Cota de instalación:	≤ 1.000 m.s.n.m.
Radiacion solar máxima:	1000 W/m2

6.1.1.2.3. Características técnicas

- Características generales

Nº de alambres:	7
Diámetro de c/ alambre (mm):	2,52
Tolerancia diámetro de c/ alambre (mm):	±0,03
Diámetro total del conductor aprox. (mm):	7, 56
Peso aprox. (kg/km):	95,5

6.1.1.2.4. Características electromecánicas

- Características mecánicas

Módulo de elasticidad final efectiva (kg/mm2) : 6000
Coeficiente de dilatación lineal (por ºC) $ºC^{-1}$: $23x10^{-3}$
Carga de rotura (kgf) : > 990

- Características Eléctricas

Resistencia eléctrica máxima a 20ºC en c.c. (Ω/km): 0,9367
(*) Ampacidad (A): ≥160

(*) Conductor expuesto al sol – Viento de 0,6 m/s – Temperatura ambiente – 40 ºC – Sobre elevación de temperatura de 40 ºC

6.1.1.2.5. Altura de la bayoneta

Longitud de la cruceta = 2,20 mts
Angulo fijo (IEEE 889-2012) = 45º
Tag α = (1,10 / h)
h =1,1 / tag45
h = 0,67mts.

6.1.1.2.6. Puesta tierra

Se instalaran puestas a tierra cada 800 metros de línea según requerimientos de ANDE, las mismas estarán compuestas de jabalinas en la cantidad necesaria hasta alcanzar el nivel de tierra requerida, menor o igual a5 Ohm para líneas de distribución en media tensión, así como también el conductor a tierra con los accesorios para la conexión.
El conductor de tierra se conectara a presión, firmemente a los electrodos.

El conductor bajante a tierra que será instalado es el conductor de cobre desnudo de 25 mm2.

6.1.1.3. Crucetas del alimentador SES01

Son en total 21 las crucetas que se encuentran en un estado precario y deteriorado en el alimentador, las condiciones de estas crucetas representan un peligro inminente, debido a que en cualquier clima adverso que se presente pueden generar fueras de servicio en el alimentador.

En este proyecto se retiraran las crucetas en mal estado y se sustituirán por otras que se encuentren en condiciones óptimas para cumplir con su necesaria función.

Las crucetas a ser utilizadas para sustituir a las deterioradas serán de madera, y poseen las dimensiones que se expresan a continuación.

FIGURA DE LAS DIMENSIONES DE LA CRUCETA

Figura 7.4.

- Superficie

Las crucetas son obtenidas por acerrado y cepillado.

La superficie de las crucetas son planas, no presentan irregularidades de cepillado.

- Colocación de las crucetas

Las crucetas se perforaran, armaran y fijaran de acuerdo a los planos de perforación y estructuras normalizados. Se cuidara de la correcta ubicación en la posición de trabajo. Las crucetas deben quedar en perfecta horizontalidad y perpendicularidad al poste.
Las crucetas de postes que son vértices de los ángulos de línea, se colocaran de manera que la línea siga la bisectriz del ángulo.

6.1.1.4. Limpieza de franja de paso o servidumbre

Se debe realizar un trabajo de limpieza de franja al alimentador en 23 kV SES01 de aproximadamente 4 kilómetros de distancia, se dará lugar a este trabajo desde el desvió a Calle San Miguel. El procedimiento se realizara cumpliendo todos los requerimientos impuestos por la ANDE en su reglamento de media tensión.
Se despejara todo obstáculo a la línea en un ancho de 6 metros, 3 metros a cada lado de la línea.
Todos los árboles y arbustos a menos de 3 metros de distancia de cada poste deberá ser cortado tan cerca del suelo como pueda practicarse, no se permitirán cortes superiores a los 30 cm del suelo.
Todos los arboles a ser removidos deben cortarse y eliminarse de modo a reducir al mínimo los daños en otros árboles.
A medida que los árboles se vayan talando o podando, estos deberán ser cortados en trozos y apilados en orden en el mismo día.
En ningún caso se realizara una tala indiscriminada. No debe obstáculo alguno en la franja de paso del alimentador.

6.1.2. Proyecto de cambio de línea desnuda a línea protegida – SES01

6.1.2.1. Levantamiento de la red MT

6.1.2.1.1. Tipos de postes de la red

La red de media tensión SES01 de la estación de San Estanislao actualmente consta de conductores de 150 mm2 y postes de HºAº de 12/300, 12/500 y 12/800 kgf, tal como puede ser observado en la siguiente tabla.

Tipo de postes	Cantidad
12/300 kgf	781
12/500 kgf	4
12/800 kgf	4

Tabla 7.13 Cantidad de postes en SES01

6.1.2.1.2. Levantamiento de acometidas

El tramo fundamental es la comprendida por el troncal del alimentador SES01, sobre el cual está proyectado el cambio del sistema de distribución, en los cuales durante el levantamiento de campo se pudo constatar un total de 46 acometidas en MT.

6.1.2.2. Características y sección del conductor

El conductor a ser utilizado en este proyecto presenta las siguientes características técnicas y constructivas según las especificaciones técnicas [37] Los conductores protegidos son de material polimérico, resistente al trillamiento eléctrico y a la intemperie, para tensión de servicio de 23 kV., utilizada como conductor fase de la red de distribución aérea compacta con espaciadores y con neutro rígidamente aterrado.

Condiciones de utilización:

- Características ambientales

Altitud: menor a 1000 msnm.
Clima: tropical
Temperatura ambiente: 0 ºC a 40 ºC
Temperatura media diaria: 30 ºC
Precipitación pluviométrica media anual: 1500 a 2500 mm.
Humedad relativa: 60 - 100 %
Nivel isoceráunico: 60

- Características de montaje

Tendido tripolar con mensajero: intemperie (en perchas separadoras)
Instalación: sitios arborizados, favorables al desarrollo de hongos y al trillamiento eléctrico.

- Características eléctricas

De la red:
Tensión entre conductor y tierra: 13,2 kV
Tensión entre fase/fase: 23 kV.
Máxima tensión entre fases: 25 kV.
Frecuencia nominal: 50 Hz.

Del cable:
Tensión de aislación: Clase 25 kV.
Temperatura en Régimen Permanente: 75 ºC.
Temperatura de Sobrecarga de Emergencia: 100 ºC
Temperatura de Cortocircuito (5 seg.): 200 ºC.
Sección Nominal: 70 mm².
Intensidad Admisible en Régimen Permanente. (Mínima)
70 mm2 = 240 A

Del conductor:
Resistencia eléctrica CC del conductor a 20 ºC (Máx) Ω/km. (Máxima)
70 mm2 = 0,43
Bloqueo antihumedad: Conductor bloqueado

Del aislamiento:
Resistencia Mínima del aislamiento a 20 ºC: 2.500 MΩ.km.

- Características constructivas generales

Conductor: el conductor unipolar del cable protegido de media tensión es de aluminio de 70 mm², está conformado por una sección circular compactada, multifilar con hilos encordonados.

Blindaje semiconductor: el blindaje semiconductor del conductor está constituido de una capa extruida de compuesto semiconductor termofijo. El espesor nominal de la capa semiconductora para cada sección de conductor está indicado en la tabla de abajo. Sin embargo, el espesor mínimo en cualquier punto del blindaje no deberá ser menor a 0,4 mm. (0,015”). El blindaje deberá estar superpuesto sobre el conductor, sin embargo, fácilmente extraíble en frío y adherente al mismo. El color del blindaje semiconductor es de color negro.

Cobertura del conductor: la cobertura aislante está constituida de 2 capas térmicamente adheridas entre sí y entre el blindaje semiconductor polimérico del conductor. Una primera capa extruida constituida de polietileno natural (limpio) de alto peso molecular y de baja densidad (LDPE). La capa más externa, a su vez, se constituye de polietileno de alta densidad HDPE, resistente al trillamiento eléctrico y a los rayos ultravioletas. Algunas de las características más importantes están señaladas en la tabla B.1 del Apéndice B.3 - Características y sección del conductor. Alternativamente se tienen coberturas que incluyen en el diseño de la primera capa de la cobertura, un compuesto termofijo de XLPE.
En este caso, el material de la capa externa deberá también satisfacer las características físicas indicadas en la tabla B.1 del Apéndice B.4 - Características y sección del conductor. El espesor nominal de la cobertura, para las dos alternativas solicitadas está ilustrado en la tabla expresada más abajo. Para el caso de cobertura que utilice LDPE/HDPE, cada capa componente constituye el 50% de la espesura nominal total. En caso de las capas de XLPE / HDPE, el espesor medio de la capa externa de HDPE no representa más del 40 % de la espesura total mínimo promedio para la cobertura.

Seccion del conductor (mm2)	Tipo del conductor	Hebras Nº	Diametro del conductor (mm)	Espesor del blindaje nominal	Espesor medio de la aislacion (minimo) (mm)				Diametro total nominal (mm)
					Alternativa 1		Alternativa 2		
					Interno	Externo	Interno	Externo	
					LDPE	HDPE	XLPE	HDPE	
70	Compacto	7	9,55	0,4	3,2	3,2	3,9	2,6	23

Tabla 7.14: Dimensiones aproximadas del cable

6.1.2.3. Lista de estructuras

Se deben de retirar todas las estructuras del sistema de distribución aérea de conductores desnudos, para ser reemplazadas por las implementadas en el sistema de distribución de conductores protegidos.

Los conductores protegidos del alimentador SES01 irán fijados en los postes por medios de las estructuras normalizadas, pudiendo ser de alineación, de retención y cambio de dirección. La determinación y el uso correcto de las mismas se basó en la configuración del terreno, al tipo de servicio que brinda y por sobre todo teniendo en cuenta la sección del conductor que son utilizados.

En la siguiente tabla se presentan la cantidad de estructuras a ser instaladas al nuevo sistema de distribución aéreo de conductores protegidos.

Descripción	Unidad	Cantidad
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº1	Nº	695
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº2	Nº	8
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº3	Nº	7
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº4	Nº	3
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº5	Nº	1
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº6	Nº	8
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº7	Nº	19
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº11	Nº	4
Montaje de Estructura MT tipo EPMTED	Nº	2880
Montaje de Estructura MT tipo PDEXIST	Nº	46
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDHº5	Nº	5
Montaje de Estructura MT tipo EPSLT 1-6	Nº	27

Tabla 7.15: Lista de estructuras a ser colocadas en el alimentador SES01

Descripción	Unidad	Cantidad
Retiro de estructura MT tipo MTDH 1	Nº	749
Retiro de estructura MT tipo MTDH 2	Nº	20
Retiro de estructura MT tipo MTDH 3	Nº	7
Retiro de estructura MT tipo MTDH 4	Nº	3
Retiro de estructura MT tipo MTDH 5	Nº	1
Retiro de estructura MT tipo MTDH 6	Nº	8
Retiro de estructura MT tipo MTDH 7	Nº	1
Retiro de estructura MT tipo SLT1	Nº	9
Retiro de estructura MT tipo SFT1	Nº	…

Tabla 7.16: Lista de estructuras a ser retiradas del alimentador SES01

6.1.1.1. CONSIDERACIONES ESPECIALES

6.1.1.1.1. DESCARGADORES DE TENSIÓN Y PUESTAS A TIERRA

Los descargados de óxido de zinc son instalados de acuerdo a las especificaciones técnicas cada 2.000 metros [9], puntos de transición y puntos terminales. Mientras que las puestas a tierra se previó en un intervalo comprendido entre 150 y 300 metros [38], donde no existan puntos de transformación. La puesta a tierra para el mensajero en los sistemas de distribución aérea protegida de media tensión debe ser como máximo de 5 ohmios [10]. Donde la conexión de los conductores de tierra a las jabalinas correspondientes es del tipo exotérmico.

6.1.1.1.2. SECCIONADORES

Los seccionadores de línea y los seccionadores fusibles que se encuentran en el sistema de distribución aérea de conductores desnudos serán desconectados durante el cambio al sistema de distribución de conductores protegidos, para su posterior reconexión al nuevo sistema.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 8.1 se observan todas las causas de averías encontradas tras la investigación llevada a cabo al alimentador SES01.

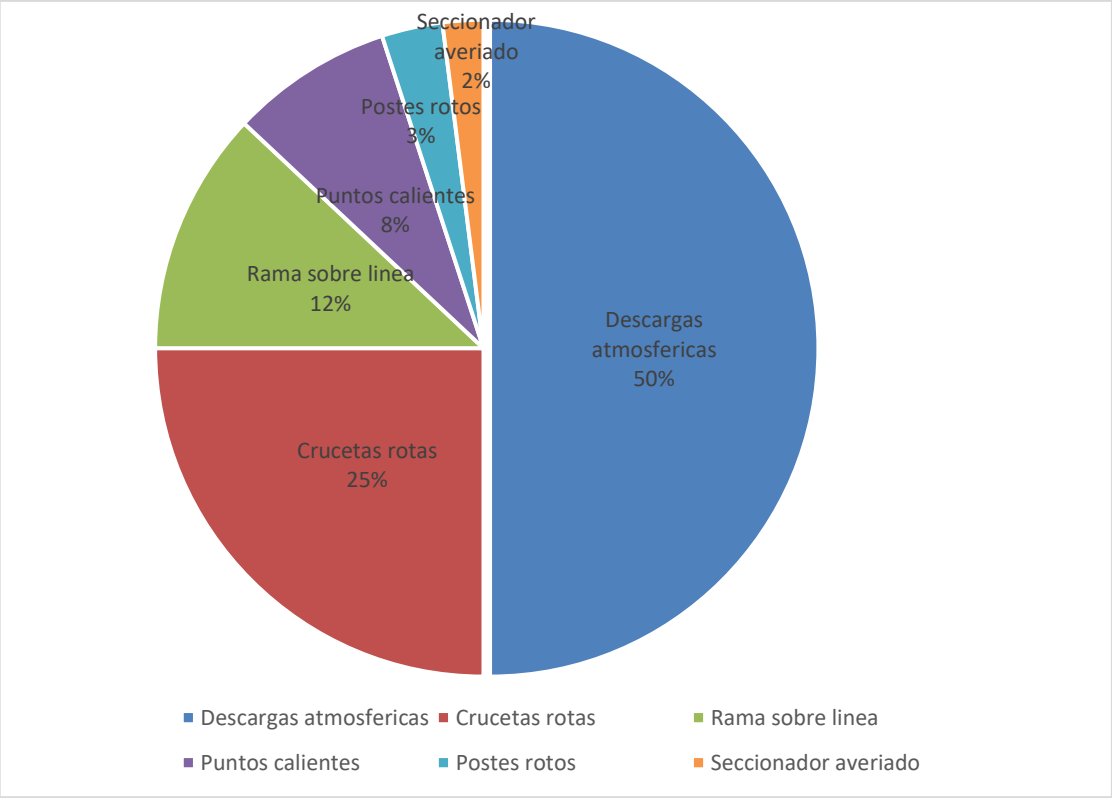


Figura 8.1. Causas de las averías en el alimentador SES01

Con la alternativa planteada número 1, Hilo de guardia y mantenimiento, se plantean soluciones a las fallas ocasionados por las descargas atmosféricas, las crucetas rotas y las ramas que invaden la franja de protección del alimentador, generando mejoras al alimentador de hasta un 87 % en comparación a la situación actual en la que se encuentra la línea. Esta alternativa representa una solución con un costo no muy elevado, xxxxxxxxxxxx Gs. La desventaja que presenta esta alternativa es la posibilidad de que en un futuro se vuelvan a deteriorar las crucetas instaladas, y que la franja de protección del alimentador vuelva a ser invadida.

Con la alternativa número 2, Línea protegida, también se solucionan las fallas por descargas atmosféricas, las crucetas rotas y las ramas que invaden la franja de protección del alimentador, lo que también representan mejoras de hasta el 87 %. La principal ventaja de esta alternativa radica en la ausencia de las crucetas y la protección ante ramas, no es requerida un mantenimiento constante

al alimentador para una poda posterior, la gran desventaja se presenta en su muy elevado costo de implementación.

A continuación se pueden comparar los costos de cada alternativa, y el porcentaje de mejora en el alimentador con dichas alternativas.

Alternativas	Mejora (%)	Costo (Gs.)
Alternativa 1	87	
Alternativa 2	87	7,999,732,880

Con las dos alternativas se contribuirá a mejorar la calidad del sistema distribución de energía eléctrica suministrada a los usuarios a través de la ANDE y también se disminuirán las perdidas por energía no facturada para dicha empresa.

9. CONCLUSIONES

Se revelo que la mayor cantidad de fueras de servicio en el alimentador fue en consecuencia de los efectos de las descargas atmosféricas, pero otros factores como el deterioro de las crucetas y las ramas sobre la línea incidieron de forma considerable en el alimentador.

Se definieron dos alternativas para mejorar el desempeño del alimentador, se pudo apreciar que con el implemento de cualquiera de las dos alternativas se

mejorara la confiabilidad y la calidad de la energía eléctrica suministrada a los usuarios de forma considerable, por tanto una reducción importante en el FEP y DEP ante la situación en la que se encontraba el alimentador en el momento de recabar los datos.

Se realizó una evaluación económica a ambas alternativas, demostrando que el costo de la implementación de la alternativa 2 es excesivamente mayor al costo de implementación que presenta la alternativa 1.

10. RECOMENDACIONES

En base a lo expuesto en secciones anteriores y a la información recolectada en dicha investigación, se recomienda lo siguiente:

- Realizar la reposición de los elementos fusibles de los seccionadores ubicados en las derivaciones, debido a que no se encuentran en las condiciones adecuadas para cumplir un correcto funcionamiento.
- Proyectar el montaje de un reconectador en el alimentador SES01
- Realizar un mantenimiento preventivo al alimentador en forma periódica para preservar la integridad del mismo.

- Investigar nuevas tecnologías para mejorar el desempeño del sistema de distribución.

11. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Recorrido del alimentador en 23 kV SES01

Col San Pedro
3
Guayaibí
3
3

Apéndice A.2: Lista de costos de materiales para Línea protegida

Descripción	Unidad	Cantidad	Unitario (Gs.)	Total (Gs.)
Erección y fijación con cimentación reforzada de HºAº 12m/800kg	Nº	4	2,271,595	9,086,380
Erección y fijación con cimentación reforzada de HºAº 12m/500kg	Nº	4	1,534,330	6,137,320
Erección y fijación con cimentación reforzada de HºAº 12m/300kg	Nº	781	1,071,455	836,806,355
Tendido de conductor protegido MT de 70mm2	Mtrs	109500	15,344	1,680,168,000
Tendido de cabo mensajero de 3/8	Mtrs	36500	5,170	188,705,000
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº1	Nº	695	594,392	413,102,440
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº2	Nº	8	1,051,380	8,411,040
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº3	Nº	7	2,001,720	14,012,040
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº4	Nº	3	4,718,040	14,154,120
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº5	Nº	1	3,599,280	3,599,280
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº6	Nº	8	3,861,960	30,895,680
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº7	Nº	19	3,842,361	73,004,859
Montaje de Estructura MT tipo EPMTHº11	Nº	4	5,633,606	22,534,424

Montaje de Estructura MT tipo PDEXIST	Nº	46	587,400	27,020,400
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDHº5	Nº	5	429,501	2,147,505
Montaje de Estructura MT tipo EPSLT 1-6	Nº	27	4,806,960	129,787,920
TOTAL MATERIALES				3,459,572,763

A.2.1. Xxxxxx

A.2.2. Xxxx

Apéndice A.3: Reducción de PENF

A.2.1. Xxxx

Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Planilla para levantamiento físico

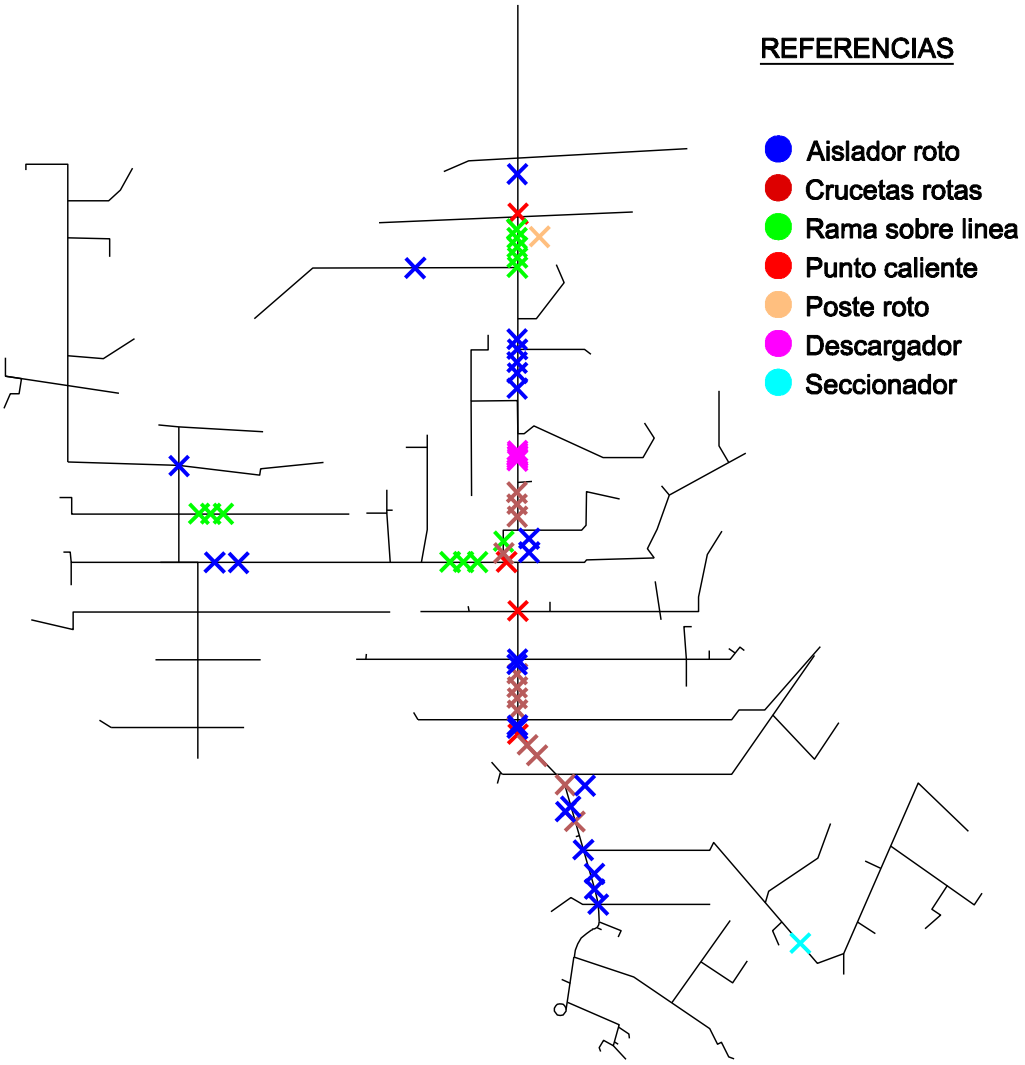
Apéndice B.2: Planilla de motivos de averías del alimentador SES 01

Fecha	Hora	Causa	Condiciones Climaticas
9-Ene-14	9:08	Descargador Averiado	Lluvioso
12-Ene-14	5:48	Desconocido	Nublado
13-Ene-14	20:03	Rama a linea	Nublado
14-Ene-14	11:39	Cruceta rota	Lluvioso
1-Feb-14	17:57	Chapa sobre linea/Cable suelto	Viento
13-Feb-14	14:17	Descargador Averiado	Lluvioso
15-Feb-14	5:00	Rama a linea	viento
16-Feb-14	7:53	Aislador roto	Lluvioso
9-Mar-14	6:15	Rama a linea	Viento
18-Mar-14	15:26	Rama a linea	Nublado
24-Mar-14	14:06	Aislador roto	Nublado
30-Mar-14	22:46	Cruceta rota	Lluvioso
9-Abr-14	17:36	Descarga atmosferica	Lluvioso
10-Abr-14	6:20	Aislador roto	Lluvioso
11-Abr-14	15:18	Rama a linea	Lluvioso
12-Abr-14	16:10	Rama a linea	Viento
18-Abr-14	13:10	Descarga atmosferica	Lluvioso
19-Abr-14	16:20	Prensa Vica/Cable suelto	Lluvioso
30-Abr-14	17:17	Prensa Vica/Cable suelto	Lluvioso
9-May-14	7:17	Punto Caliente	Caluroso
11-May-14	6:35	Cruceta rota	Viento
8-Jun-14	6:50	Descarga atmosferica	Lluvioso
16-Jun-14	20:30	Descarga atmosferica	Nublado
5-Jul-14	14:40	Aislador roto	Lluvioso
8-Jul-14	15:44	Rama a linea	Viento
11-Ago-14	14:05	Punto Caliente	Desconocido
28-Ago-14	15:05	Cruceta rota	Desconocido
3-Sep-14	14:57	Aislador roto	Viento
25-Sep-14	19:57	Descarga atmosferica	Lluvioso
		Postes rotos	Desconocido
29-Sep-14	9:24	Postes rotos	Viento
1-Oct-14	5:51	Rama a linea	Viento
3-Oct-14	18:56	Rama a linea	Desconocido
19-Oct-14	22:20	Cruceta rota	Nublado
20-Oct-14	4:50	Rama a linea	Nublado
30-Oct-14	12:38	Aislador roto	Desconocido
1-Nov-14	10:00	Rama a linea	Viento
1-Nov-14	14:30	Rama a linea	Lluvioso
20-Dic-14	12:34	Rama a linea	Viento

20-Dic-14		Postes rotos	Accidente
28-Dic-14		Cruceta rota	Desconocido
12-Ene-15	19:00	Rama a linea	
13-Ene-15	14:53	Rama a linea	
24-Ene-15	14:10	Rama a linea	
25-Ene-15		Puente Suelto	
25-Ene-15	13:26	Rama a linea	Viento
27-Ene-15		Aislador roto	Viento
27-Ene-15	16:53	Rama a linea	Nublado
29-Ene-15		Aislador roto	Lluvioso
30-Ene-15	11:24	Descarga atmosferica	Lluvioso
2-Feb-15		Aislador roto	Lluvioso
4-Feb-15		Descarga atmosferica	Desconocido
4-Feb-15	17:55	Rama a linea	Nublado
9-Feb-15	16:20	Rama a linea	Lluvioso
11-Feb-15	12:23	Aislador roto	Lluvioso
12-Feb-15	23:54	Aislador roto	Lluvioso
21-Feb-15	9:20	Rama a linea	Nublado
24-Feb-15	21:37	Postes rotos	Accidente
7-Mar-15	17:56	Rama a linea	Nublado
11-Mar-15	16:49	Rama a linea	Nublado
13-Mar-15	17:45	Cruceta rota	Desconocido
15-Mar-15	12:21	Descarga atmosferica	Lluvioso
16-Mar-15	18:12	Descarga atmosferica	Lluvioso
31-Mar-15	10:53	Seccionador Averiado	Nublado
4-Abr-15	14:05	Aislador roto	Lluvioso
12-Abr-15	6:10	Rama a linea	Viento
13-Abr-15	7:41	Aislador roto	Lluvioso
17-Abr-15	5:23	Postes roto	Caluroso
3-May-15	12:20	Descarga atmosferica	Lluvioso
3-May-15	13:38	Aislador roto	Lluvioso
15-May-15	9:55	Aislador roto	Desconocido
18-May-15	11:40	Rama a linea	Lluvioso
16-Jun-15	7:37	Cable suelto	Frio
18-Jun-15	17:39	Rama a linea	Lluvioso
30-Jun-15	11:04	Aislador roto	Lluvioso
5-Ago-15	6:00	Seccionador Averiado	Caluroso
8-Sep-15	6:38	Descarga atmosferica	Lluvioso
21-Sep-15	11:00	Rama a linea	Viento
2-Oct-15	11:34	Rama a linea	Viento
8-Oct-15	3:45	Rama a linea	Lluvioso

26-Oct-15	6:33	Descarga atmosferica	Lluvioso
26-Oct-15	1:15	Aislador roto	Lluvioso
13-Nov-15	5:45	Cruceta rota	Caluroso
14-Nov-15	20:12	Punto Caliente	Caluroso
15-Nov-15	4:15	Rama a linea	Lluvioso
16-Nov-15	10:53	Descarga atmosferica	Lluvioso
17-Nov-15	5:50	Aislador roto	Desconocido
18-Nov-15	18:50	Aislador roto	Desconocido
22-Nov-15	8:10	Rama a linea	Caluroso
24-Nov-15	11:30	Rama a linea	Nublado
25-Nov-15	6:00	Cable suelto	Lluvioso
27-Nov-15	15:50	Descarga atmosferica	Lluvioso
28-Nov-15	10:50	Aislador roto	Lluvioso
29-Nov-15	10:00	Poste roto	Lluvioso
2-Dic-15	6:26	Rama a linea	Viento
4-Dic-15	10:40	Aislador roto	Lluvioso
5-Dic-15		Aislador roto	Nublado
9-Dic-15		Rama a linea	Viento
10-Dic-15		Rama a linea	Lluvioso
11-Dic-15		Rama a linea	Viento
14-Dic-15	21:02	Descarga atmosferica	Viento
19-Dic-15	18:16	Descarga atmosferica	Lluvioso
22-Dic-15		Rama a linea	Viento
31-Dic-15		Descarga atmosferica	Nublado

Apéndice B.3: Mapa espacial SES01


REFERENCIAS
Aislador roto
Crucetas rotas
Rama sobre linea
Punto caliente
Poste roto
Descargador
Seccionador

Apéndice B.4: Características del conductor Protegido

Ítem	Requisitos físicos	Valores exigidos
A.1	Requisitos mecánicos, antes del envejecimiento Resistencia a la tracción, mínima (Mpa). Alargamiento a la ruptura, mínima (%)	 12,5 200
A.2	Requisitos mecánicos, después del envejecimiento acelerado en estufo de aire(135±3)°C, durante 168 horas: Variación máx. para resistencia a la tracción y alargamiento a la ruptura: (%)	±25
A.3	Alargamiento en caliente, (250±3)°C durante 15 minutos: Esfuerzo mecánico (Mpa): Máximo alargamiento después del enfriamiento: Máximo alargamiento sobre carga (%):	 0,2 15 175
A.4	Absorción de la humedad, método gravimétrico, (85°C+2)°c, después de 336 horas de inmersión: Variación máxima de masa permitida(mg/cm²)	 1
A.5	Retracción: Temperatura (tolerancia ±3°C) Duración : (hora) Retracción máxima permisible: (%)	 130°C 1 4
A.6	Tangente máxima del ángulo de pérdida a 90°C:	80 % x 10^{-4}
A.7	Contenido de negro de humo, mínimo (%):	2

B	Requisitos eléctricos del compuesto	
B.1	Tensión eléctrica aplicada entre el conductor y el agua:	
	Tiempo mínimo de inmersión antes del ensayo (horas):	1
	Frecuencia de la tensión aplicada (Hz):	48-60
	Tiempo de aplicación de la tensión (minutos):	5
	Tensión de ensayo (KV):	
	Espesor de la cubierta externa (4,0mm):	24
B.2	Resistencia de aislación entre conductor y el agua:	
	Tiempo de aplicación de la tensión min/máx. (minutos)	1/5
	Tensión de ensayo (KV-continuo)	0,5

Tabla B:1: Requisitos físicos y eléctricos de los compuestos de XLPE

Apéndice B.5:

Tabla B:1: xxx

Apéndice B.4: Xxxx

B.4.1. Xxxxx

Apéndice B.5: Xxx

Tabla B:2: xxxx

Tabla B:3: xxxx

Apéndice C: Evaluación económica

Apéndice C.1: XXXX

C.1.1 Xxxx

C.1.2 Xxxx

BIBLIOGRAFIA