



**PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS ELÉCTRICAS
DE DISTRIBUCIÓN AÉREA DESNUDA DE MEDIA
TENSIÓN POR LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN
AÉREA PROTEGIDA DE LA CIUDAD DE CORONEL
OVIEDO**

ELISA ROJAS GIRETT

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay 2015**

**PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS ELÉCTRICAS
DE DISTRIBUCIÓN AÉREA DESNUDA DE MEDIA
TENSIÓN POR LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN
AÉREA PROTEGIDA DE LA CIUDAD DE CORONEL
OVIEDO**

Elaborado por

ELISA ROJAS GIRETT

Tutor

Ing. Alex Ismael Dure Cabañas

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

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay 2015**

Dedicado a:

*Dios y a la Virgen de Caacupé, por todo lo que me ha brindado en la vida,
por la oportunidades, tropiezos y logros conseguidos. Porque estuvieron
siempre conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza
para continuar.*

*Mi madre Sandra, por su paciencia, confianza y apoyo incondicional para
proseguir mis estudios. Depositando su entera confianza en cada reto que
se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi capacidad.*

Mi padre Rafael, por velar por mi bienestar en todo momento.

*Mis hermanas/o Rossana, Sandra e Iván por estar siempre a mi lado
compartiendo los momentos más significativos de mi vida.*

*A mi compañero de vida Oscar, por su infinita paciencia, por su apoyo
incondicional y tierna compañía.*

*A todos mis compañeros, por todos los momentos lleno de desafíos,
sacrificios y alegrías que pasamos juntos durante la carrera.*

Mis amigas, que complementan mi vida.

Agradecimientos:

*Al Ing. Alex Ismael Dure Cabañas, por la motivación, colaboración y
sabios conocimientos.*

*Al Ing. Cesar Ferreira, por su dirección para la corrección del
proyecto.*

*Al Ing. Rolando Rodríguez y al Sr. Isidro González, por su paciencia,
correcciones y ayuda desinteresada.*

*A todos los Docentes que durante la carrera impartieron sus
conocimientos académicos y experiencias, lo que nos ha dado el aval
de que seremos unos excelentes profesionales.*

PROYECTO DE SUSTITUCIÓN DE LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN AÉREA DESNUDA DE MEDIA TENSIÓN POR LÍNEAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN AÉREA PROTEGIDA DE LA CIUDAD DE CORONEL OVIEDO

ELISA ROJAS GIRETT

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar el proyecto ejecutivo de sustitución de línea de distribución aérea de media tensión, del sistema de conductores desnudos a un sistema de conductores protegidos, evaluando los indicadores de calidad de los 2 alimentadores que sirven a la Ciudad de Coronel Oviedo. Para desarrollar el proyecto se utilizó el programa AutoCAD 2016, con el cual se realizan los planos de urbanismo y trayectorias de conductores desnudos que serán sustituidos por los conductores protegidos, indicando las estructuras en las cuales irán apoyadas los alimentadores COV3 y COV6. Se verificaron el comportamiento de los 2 alimentadores, tanto en tensión como en pérdida de potencia activa, en condiciones actuales y las esperadas con el nuevo sistema de distribución basado en conductores protegidos. Se realizó una evaluación económica del proyecto de implementación del sistema de distribución aérea protegida con espaciadores mediante un análisis de costo y beneficios. Se concluye que el cambio del sistema de distribución aéreo en media tensión, es una solución técnicamente y económicamente viable, que mejora la calidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica suministrada a los usuarios.

Palabras claves: Conductores protegidos, Conductores desnudos, Línea de distribución de Media tensión, Proyecto ejecutivo.

**MEDIUM VOLTAGE ELECTRICAL DISTRIBUTION AERIAL NAKED LINES
REPLACEMENT PROJECT TO A DISTRIBUTION SYSTEM AERIAL
PROTECTED OF THE CITY OF CORONEL OVIEDO**

ELISA ROJAS GIRETT

SUMMARY

The objective of this work is to realize the final project design of replacing aerial naked distribution line of medium voltage, the system of bare conductors to a system of protected conductors, evaluating quality indicators of the two feeders of the city of Coronel Oviedo. To develop the project was used the program AutoCAD 2016, in which were designed the urban plan and trajectories of bare conductors, which will be replaced by the protected conductors, indicating the structures that will support the feeders COV3 and COV6 with the new type of conductors. The behavior of the two feeders was verified, both in voltage as in loss of active power, in current conditions and the expected with the new distribution system based on protected conductors. An economical evaluation of the implementation project of the aerial protected distribution system with spacers was performed through an analysis of costs and benefits. It is concluded that the change of the overhead distribution system in medium voltage studied, is a solution technically and economically feasible that will improve the quality and reliability of the supply of electrical power supplied to the users.

Key Words: Protected conductors, Bare conductors, Medium Voltage Distribution line, Final project design.

CONTENIDO

Dedicado a	III
Agradecimientos	IV
Resumen	V
Summary	VI
Contenido	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XIV
Lista de abreviaturas	XVI
I. INTRODUCCIÓN	18
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	20
Capítulo 1: Conceptos generales	20
1.1. Sistema de distribución de energía eléctrica	20
1.1.1. Redes de Distribución de Energía Eléctrica	20
1.1.2. Tipos de líneas de distribución	21
1.1.2.1. Líneas Aéreas.....	22
1.2. Confiabilidad del sistema de distribución	26
1.2.1. Introducción	26
1.2.2. Problemas de la confiabilidad asociados con la calidad de la red.....	27
1.3. Calidad del servicio de energía eléctrica.....	29
1.4. Indicadores	30
1.5. Cymdist	31
Capítulo 2: Líneas de distribución protegida	32
2.1. Introducción	32
2.2. Características	34
2.3. Áreas típicas de utilización	35
2.4. Partes componentes de una línea de distribución aérea de MT protegida.....	38
2.4.1. Conductores.....	38
2.4.2. Cable mensajero	40

2.4.3. Accesorios	42
2.4.3.1. Accesorios poliméricos	42
2.4.3.2. Accesorios metálicos	49
Capítulo 3: Equipos de maniobra y protección.....	59
3.1. Seccionadores fusibles	59
3.2. Seccionadores de línea	59
3.3. Reconectadores.....	59
3.4. Protección de máxima corriente	60
3.5. Protección contra las sobretensiones.....	60
3.6. Puesta a tierra	61
Capítulo 4: Analisis de costo - beneficio	62
4.1. Flujo de caja proyectada.....	62
4.2. Valor presente neto (VPN).....	62
4.3. Tasa Interna de Rendimiento (TIR)	63
4.4. Periodo de retorno de la inversión (PRI, Payback)	64
III. RESUMEN EJECUTIVO.....	65
Capítulo 5: Resumen ejecutivo	65
5.1. Descripción del trabajo.....	65
5.2. Justificación.....	66
5.3. Finalidad del proyecto	67
5.4. Metas	68
5.5. Objetivos	68
5.5.1. Objetivos generales	68
5.5.2. Objetivos específicos.....	68
5.6. Beneficiarios.....	69
5.7. Producto	69
5.8. Localización física y cobertura espacial.....	69
5.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	71
5.10. Métodos y técnicas utilizadas	74

5.11. Recursos necesarios	75
5.11.1. Recursos humanos	75
5.11.2. Recursos materiales	75
5.12. Factibilidad técnica	76
5.13. Factibilidad económica	76
5.13.1. Beneficios	76
5.13.1.1. Reducción de los índices de calidad	76
5.13.1.2. Reducción de poda de arboles	77
5.13.1.3. Reducción de mantenimiento.....	77
5.13.1.4. Reducción de fuera de servicio	78
5.13.2. Costos.....	78
5.13.2.1. Costos de la implementación de las líneas aéreas de distribución protegida y el retiro de las líneas de conductores desnudos	78
5.13.3. Evaluación económica	80
5.13.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada	80
5.13.3.2. Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)	81
5.13.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN).....	81
5.13.3.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	82
IV. INGENIERÍA DE DISEÑO	83
Capítulo 6: Ingeniería de diseño.....	83
6.1. Sistema de distribución aérea de MT actual de la ciudad de Coronel Oviedo	83
6.2. Verificación preliminar	84
6.3. Desempeño de las tensiones y pérdidas en KW con el sistema de distribución aérea de MT convencional en COV3 y COV6.....	87
6.4. Cálculo de impedancias de los conductores desnudos y protegidos	89
6.5. Desempeño de las tensiones y pérdidas en KW con la implementación del sistema de distribución protegida en COV3 y COV6.....	90
6.6. Proyecto de sustitución del sistema de distribución aéreo de conductores desnudos a un sistema de distribución de conductores protegidos en media tensión.....	93
6.6.1. Digitalización de las líneas aéreas de distribución con conductores desnudos en MT	93
6.6.1.1. Verificación del recorrido de COV3 y COV6 y su posterior validación.....	93
6.6.1.2. Levantamiento de la red de MT y puntos de transformación	94

6.6.1.3. Levantamiento de acometidas.....	94
6.6.1.4. Diagnóstico del sistema de distribución aéreo de conductores desnudos.....	95
6.6.1.5. Digitalización de las redes	95
6.6.2. Croquis orientativo	96
6.6.3. Características y sección del conductor	96
6.6.3.1. Condiciones de utilización.....	97
6.6.4. Consideración del proyecto ejecutivo	100
6.6.5. Lista de estructuras.....	100
6.6.6. Consideraciones especiales	102
6.6.6.1. Postaciones.....	102
6.6.6.2. Descargador de tensión y puesta a tierra	103
6.6.6.3. Seccionadores	103
6.6.6.4. Espaciadores	103
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	105
VI. CONCLUSIONES	107
VII. RECOMENDACIONES	108
VIII. APÉNDICE	109
APÉNDICE A: Resumen ejecutivo	109
Apéndice A.1: Reducción de poda de árboles	110
Apéndice A.2: Reducción de mantenimiento	113
Apéndice A.3: Reducción de PENF	115
APÉNDICE B: Ingeniería de diseño	117
Apéndice B.1: Cálculo de impedancias de los conductores desnudos y protegidos.....	118
Apéndice B.2: Proyecto ejecutivo	126
Apéndice B.3: Características y sección del conductor	129
Apéndice B.4: Lista de estructuras a ser montadas	132
Apéndice B.5: Cantidad de espaciadores y vanos para cada tipo de estructura	135
APÉNDICE C: Evaluación económica.....	137
Apéndice C.1: Determinación de la Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VPN) y el Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)	138
IX. BIBLIOGRAFÍA	143

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1.1: Sistema eléctrico	21
Figura 1.2: Sistema de distribución aérea de conductores desnudos, ANDE.....	23
Figura 1.3: Línea aérea de conductores desnudos COV próximo a arboles	24
Figura 1.4: Línea aérea protegida en 23KV de la ANDE.....	25

CAPITULO 2

Figura 2.1: Sistema de redes de distribución Tipo aérea protegida en 23 KV	32
Figura 2.2: Zonas arboladas.....	36
Figura 2.3: Distancia de seguridad respecto a edificios.....	37
Figura 2.4: Conductores de Simple y Doble Capa.....	39
Figura 2.5: Conductor de Simple y Doble camada o capa.....	39
Figura 2.6: Cable portante o mensajero	41
Figura 2.7: Aisladores tipo pin	42
Figura 2.8: Aislador polimérico tipo pin con grapa incorporada.....	43
Figura 2.9: Aislador para retención	44
Figura 2.10: Anillos de sujeción y utilización	45
Figura 2.11: Espaciador polimérico poligonal y vertical.....	45
Figura 2.12: Espaciador con grapas incorporadas	46
Figura 2.13: Espaciador para desvíos mayores a 20°	47
Figura 2.14: Coberturas protectoras.....	47
Figura 2.15: Alambre recubierto para ataduras y su instalación.....	48
Figura 2.16: Ménsula antibalaneo y su utilización	48
Figura 2.17: Brazo tipo “L” y su implementación.....	49
Figura 2.18: Instalación de herrajes o brazo tipo “C”	49
Figura 2.19: Grapas de sujeción del cable mensajero.....	50
Figura 2.20: Grapa de desvío de mensajero.....	50
Figura 2.21: Estribo para ménsula de alineación.....	51

Figura 2.22: Guardacabo horquilla preformada para mensajero.	51
Figura 2.23: Guardacabo horquilla para servicio pesado para mensajero.	52
Figura 2.24: Horquilla con pasador preformado para mensajero.	52
Figura 2.25: Guía tubular para mensajero	52
Figura 2.26: Ménsula tangente o de alineación	53
Figura 2.27: Ménsula de desvío para redes con un circuito.....	54
Figura 2.28: Ménsula de desvío para redes con doble circuito	55
Figura 2.29: Ménsula de desvío en configuración vertical	55
Figura 2.30: Ménsula de retención terminal	56
Figura 2.31: Pernos para aislador montado en ménsula y en cruceta	56
Figura 2.32: Placa para doble aislador o pletina de unión	57
Figura 2.33: Cable para derivaciones	58

CAPITULO 5

Figura 5.1: Departamento de Caaguazú.....	70
Figura 5.2: Ciudad de Coronel Oviedo-Departamento de Caaguazú	70
Figura 5.3: Flujo de caja proyectada del proyecto.....	80
Figura 5.4: Método del VPN con tasa de descuento del 10%.....	81

CAPITULO 6

Figura 6.1: Representación de los alimentadores COV3 y COV6	84
Figura 6.2: Zona de poda de árboles y la zona de reducción.....	87
Figura 6.3: Perfil de tensión COV3	88
Figura 6.4: Cuadro de flujo de carga COV3	88
Figura 6.5: Perfil de tensión COV6	89
Figura 6.6: Cuadro de flujo de carga COV6	89
Figura 6.7: Perfil de tensión COV3	91
Figura 6.8: Cuadro de flujo de carga COV3	91
Figura 6.9: Perfil de tensión COV6	92
Figura 6.10: Cuadro de flujo de carga COV6.....	92

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE B

Figura B.1: Conductor protegido	121
Figura B.2: Espaciador poligonal	121
Figura B.3: Croquis de ubicación. COV3 y COV6	127

APÉNDICE C

Figura C.1: Método del VPN con tasa de descuento del 10%	141
--	-----

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 5

Tabla 5.1: Índices de calidad	77
Tabla 5.2: Reducción de poda de arboles	77
Tabla 5.3: Costo total de materiales.....	79
Tabla 5.4: Costo total del proyecto de sustitución de línea de distribución aérea convencional a un sistema con conductores protegidos en MT.....	79

CAPITULO 6

Tabla 6.1: DEP de los alimentadores COV3 y COV6, año 2012	84
Tabla 6.2: FEP de los alimentadores COV3 y COV6, año 2012	85
Tabla 6.3: DEP y FEP de los 9 alimentadores, ES-BPA, año 2012	85
Tabla 6.4: Reducción de la impedancia	90
Tabla 6.5: Cantidad de postes en COV3 y COV6	94
Tabla 6.6: Postaciones de acuerdo al ángulo	95
Tabla 6.7: Dimensiones aproximadas del cable	100
Tabla 6.8: Lista de estructuras a ser colocadas en los alimentadores COV3 y COV6	101
Tabla 6.9: Lista de estructuras a ser retiradas de los alimentadores COV3 y COV6	101
Tabla 6.10 Postaciones en COV3 y COV6.....	102

V. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Tabla V:1: Reducción de los índices de calidad	105
Tabla V:2: Reducción de la pérdida de potencia activa.....	105

VIII. APÉNDICE

APÉNDICE A

Tabla A:1: Poda de árboles de conductores desnudos, COV3 y COV6	111
Tabla A:2: Inversión SD conductores desnudos y ahorro con el nuevo SD	111

Tabla A.3: Resumen de costo de mantenimiento	114
Tabla A.4: Reducción de costo por mantenimiento.....	114
Tabla A.5: Reducción de PENF.....	116

APÉNDICE B

Tabla B.1: Datos sobre conductores desnudos	122
Tabla B.2: Separación entre conductores	122
Tabla B.3: Requisitos físicos y eléctricos de los compuestos de XLPE. [46]	130
Tabla B.4: Requisitos físicos de la cobertura externa – HDPE. [46].....	131
Tabla B.5: Montaje de estructuras, conductores en COV3 y COV6	134
Tabla B.6: Distancia entre EPMT1 y EPMT1/EPMT1A	136
Tabla B.7: Distancia entre EPMT1/EPMT1A y cualquier otro tipo de estructura (que no sea de alineación).....	136
Tabla B.8: Distancia entre EPMT2 y cualquier otro tipo de estructura (entre EPMT2/EPMT2; EPMT2/EPMT3; etc.)	136

APÉNDICE C

Tabla C.1: Flujo de caja de los beneficios previstos.....	139
Tabla C.2: Flujo de caja proyectada de las inversiones previstas.....	140

LISTA DE ABREVIATURAS

- MT – Media tensión, niveles de tensión del sistema eléctrico.
- DEP – Duración equivalente de interrupción por potencia.
- FEP – Frecuencia equivalente de interrupción por potencia.
- SE – Sub estación de energía eléctrica.
- ANDE – Administración Nacional de Electricidad.
- KV – Kilo volts, unidad de medida de la tensión.
- SCAE – Sistema “HENDRIX” de Cable Aéreo con Espaciadores.
- XLPE – Polietileno reticulado.
- HDPE – Polietileno de alta densidad.
- LDPE – Polietileno natural de alto peso molecular y baja densidad.
- ACSR – Aluminum Conductor Steel Reinforced: conductor de aluminio con centro de acero galvanizado.
- AW - Alumo Weld: varilla de acero con recubrimiento de aluminio.
- ANSI - American National Standards Institute, Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
- VPN – Valor presente neto.
- TIR- Tasa interna de retorno.
- PRI – Periodo de retorno de la inversión.
- COV3 y COV6 – Alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo.
- MVA – Mega volt ampere, unidad de medida de potencia eléctrica.
- PD – Puesto de distribución.
- AutoCAD – Computer Aided Design, Diseño asistido por computador.
- NTC – Norma técnica de copel.
- ES-BPA – Estación Barrio Parque.
- Kw – Kilo watts, unidad de medida de potencia eléctrica.
- KVA – Kilo volt ampere, unidad de medida de potencia eléctrica.
- SD – Sistema de distribución.
- PENF – Perdida de energía no facturada.

DMG – Distancia media geométrica.

RMG – Radio medio geométrico.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la ciudad de Coronel Oviedo, ubicada en la región centro de nuestro país, cuenta con un sistema de distribución de MT aérea desnuda que abastece la mayor parte de la ciudad mediante 2 alimentadores que tienen una salida subterránea de la estación de Coronel Oviedo en conductores de 240mm² hasta el punto de transición con conductores desnudos.

Este sistema de distribución brinda una baja confiabilidad al servicio de energía eléctrica, que se constata al comparar su indicador de calidad del servicio técnico DEP y FEP con el de alimentadores de una SE que atiende cargas de características similares, de la ciudad de Asunción, el cual cuenta con un sistema de distribución del tipo protegido en media tensión.

Por dicho motivo este proyecto de fin de grado busca mejorar la calidad y confiabilidad del sistema de distribución de los alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo, mediante la realización de un proyecto ejecutivo, que se basa en el cambio del sistema de distribución aérea de MT desnuda a un sistema de distribución aérea de MT protegida, buscando con ello disminuir el indicador DEP y FEP, de tal modo brindar a los usuarios finales de la ANDE un mejor servicio de energía eléctrica.

El motivo de la realización de éste proyecto de fin de grado es que con ello se llegará a mejorar la confiabilidad del sistema de distribución de la ciudad de Coronel Oviedo,

ofreciendo un mejor servicio de la energía eléctrica a la misma y un mejor confort a los usuarios finales que es la parte más importante de éste sistema.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. Sistema de distribución de energía eléctrica

1.1.1. Redes de Distribución de Energía Eléctrica

La función desempeñada por los sistemas de distribución es la de recibir la energía eléctrica de las centrales de generación o estaciones primarias y entregarla a los usuarios a la tensión adecuada, con la conveniente calidad y continuidad del suministro para los distintos usos [1]

Un sistema de distribución consta normalmente de: subestaciones de distribución, que transforma la energía a una tensión más baja para la distribución local; alimentadores las cuales tienen salida en las estaciones transformadoras de distribución, cuya finalidad es alimentar un área bien definida y con característica muy mallada, cubriendo la superficie de los centros de consumo (población, grandes industrias, etc.) uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los puestos de transformación, las cuales corresponden la última etapa del suministro en MT [2], encontrándose montadas sobre postes, en casetas o cámaras subterráneas, cerca de los centros de consumo para transformar la energía a la

tensión de los usuarios finales.

Luego se encuentra la red de distribución de baja tensión que también transportan la energía a lo largo de las calles y por las correspondientes acometidas, a través de las cuales se transportan la energía desde las redes de baja tensión a los respectivos empalmes de los usuarios.

En la figura 1.1 se puede observar que parte de un sistema de energía eléctrica, incluyendo la generación, corresponde a los sistemas de distribución.

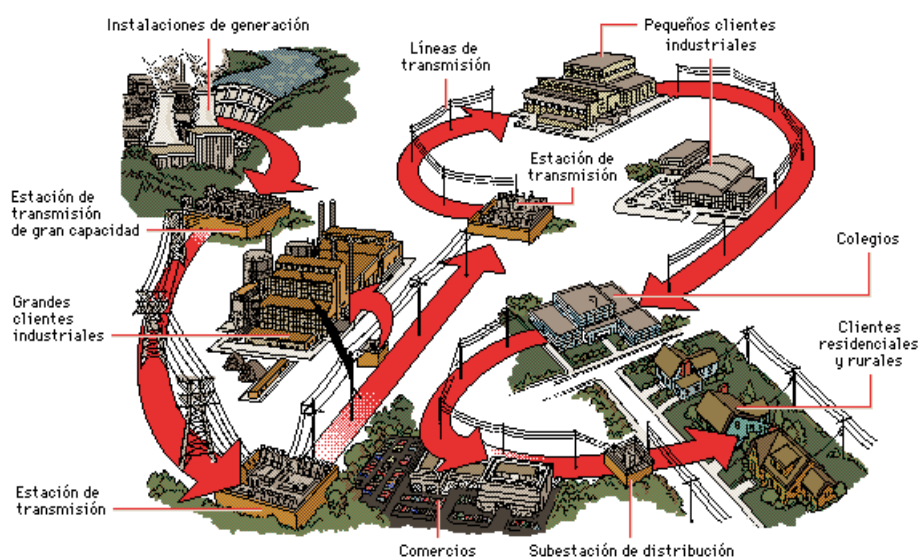


Figura 1.1: Sistema eléctrico

Los tipos de cargas que son conectadas a las redes de distribución pueden ser reunidas en 3 grupos de consumo, las cuales constituyen las cargas: residenciales, comerciales e industriales.

1.1.2. Tipos de líneas de distribución

De acuerdo a como se entrega la energía eléctrica a los consumidores las líneas de distribución se pueden clasificar en: líneas aéreas, dentro de las cuales están las líneas de distribución aéreas desnudas y las protegidas; líneas subterráneas; líneas

mixtas las cuales están compuestas tanto por líneas aéreas como subterráneas. Estos a su vez pueden alimentar a sistemas radiales o sistemas en anillos (mallados). La estructura radial es la más empleada por su sencillez de operación y bajo costo [1]

La reciente mayor énfasis sobre el medio ambiente (aspecto) también ha contribuido a una mayor presión para instalaciones subterráneas y las líneas aéreas de distribución protegidas [3].

Actualmente la ANDE cuenta con los tipos de líneas mencionados anteriormente, siendo la aérea la más implementada, en cambio la línea subterránea es utilizada generalmente en la salida de las subestaciones y en los circuitos de distribución de aquellas ciudades que cuentan con una gran cantidad de edificaciones y habitantes.

1.1.2.1.Líneas Aéreas

Se consideran líneas aéreas todas las redes montadas a cierta altura, al aire libre y a vista directa para el transporte de energía eléctrica. Para mantener los conductores a la distancia mínima se utilizan apoyos, pudiendo ser estos de madera, metálicos o de hormigón y con conductores desnudos de aluminio y/o acero, o conductores aislados, donde se tienen las líneas aéreas compactas protegidas con separadores o las líneas aéreas preensambladas (trenzadas) [4]. Y la elección de los tipos de conductores se realiza en función del lugar por donde vayan a recorrer y el tipo de instalación. Sobre los postes mencionados con anterioridad se disponen otros soportes en posición horizontal, llamadas crucetas, sobre las cuales se montan los diferentes elementos o herrajes, aisladores que son los encargados de sostener a dichos conductores.

Al conjunto de poste, cruceta y soportes de los cables recibe el nombre de apoyo, por lo que se puede afirmar que los elementos fundamentales de toda línea eléctrica aérea son los apoyos y los conductores [4].

Las líneas aéreas presentan varias ventajas sobre las líneas subterráneas, ya que tanto la inversión inicial del montaje como los gastos de mantenimiento son inferiores.

- **Líneas aéreas convencionales (Conductores desnudos):** los conductores empleados en las líneas aéreas convencionales (Conductores desnudos) son de un material de aluminio y de cobre, aunque hoy en día el único que se utiliza, principalmente es el aluminio. El aluminio al tener una resistencia mecánica muy pequeña es necesario que para formar dichos conductores el alma debe estar formada por alambres de acero, con el fin de aumentar la resistencia mecánica de estos conductores. Se utilizaran tan sólo en instalaciones especiales y debidamente justificadas, excluyendo el caso de zonas arboladas o con peligros de incendio [5].



Figura1.2: Sistema de distribución aérea de conductores desnudos,
ANDE

Donde las partes principales de una línea aérea son:

- ❖ Conductores.
- ❖ Aisladores.
- ❖ Las obras de apoyo (postes).
- ❖ Soportes transversales y las cimentaciones.

Las líneas aéreas convencionales están expuestas a que en él se presenten diversas averías, las causas más usuales que se suelen producir en los tendidos de las líneas son entre otras, la caída de árboles, los vientos huracanados, fenómenos atmosféricos y otros agentes externos que pueden provocar daños en ellos. Las averías que causan, principalmente los efectos nombrados anteriormente son:

- ❖ La rotura del conductor.
- ❖ La unión entre dos o más conductores (cortocircuito).
- ❖ La unión de uno o más conductores y tierra (cortocircuito).



Figura 1.3: Línea aérea de conductores desnudos COV próximo a arboles

- **Líneas aéreas protegidas:** éste tipo de líneas aparte de estar a la intemperie como las líneas convencionales, están compuesta de conductores que contienen una capa de aislación, donde la separación entre fases ésta hecha mediante espaciadores triangulares y verticales aislantes que permite una proximidad de los conductores energizados. Los cuales están sustentados por un cable de acero portante galvanizado de alta resistencia [6] [7] [8]

Asimismo, las líneas desnudas normalmente encuentran resistencia entre la población debido al impacto ambiental provocado por la frecuente necesidad de podas predatorias de los árboles, debido a que el simple contacto del conductor desnudo con una rama puede provocar la salida de servicio de parte de la red, exigiendo la presencia constante de equipos de mantenimiento para el restablecimiento de la energía.



Figura 1.4: Línea aérea protegida en 23KV de la ANDE

Las características que presenta este tipo de líneas, son: que la cubierta externa es de XLP por su mejor comportamiento en el contacto con ramas de árboles y con tratamientos de protección por la exposición a los rayos ultravioletas.

1.2. Confiabilidad del sistema de distribución

1.2.1. Introducción

El objetivo de realizar la evaluación de la confiabilidad de una red eléctrica, sistema de distribución o transmisión es la de determinar los índices que reflejan la calidad del servicio que presenta el sistema para el usuario final o consumidor. Donde la calidad de energía es un término utilizado para referirse al estándar de calidad que debe tener el suministro de corriente alterna en las instalaciones eléctricas, en términos de: tensión o voltaje constante, forma de onda sinusoidal, frecuencia constante [9]

Son numerosas las acciones que se pueden llevar a cabo para reducir la incertidumbre de quedar sin el suministro de energía eléctrica. Así como por ejemplo:

- **Disponer de elementos en paralelo en el sistema:** esta alternativa consiste en disponer los elementos del sistema de tal modo que si falla un componente del mismo, éste continuara funcionando.
- **Disponer de reservas de abastecimiento de potencia y energía mediante múltiples fuentes:** con esta opción también se logra que cuando una de las fuentes de energía presentan inconvenientes, el suministro no se verá

interrumpido, beneficiando tanto a la empresa suministradora de energía y a los usuarios.

- **Mejorar la confiabilidad mediante el empleo de diseños y tecnologías adecuados en éste punto son múltiples las acciones que son posibles llevar a cabo como:**

- El mejoramiento de los sistemas de compensación de factor de potencia.
- El mejoramiento de las instalaciones eléctricas. Por eso es este punto donde se centrara el proyecto de fin de grado para mejorar la confiabilidad del sistema a través del cambio del sistema de distribución aérea de MT desnuda por un sistema de distribución aérea de MT protegida.

1.2.2. Problemas de la confiabilidad asociados con la calidad de la red

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 [10].

Los principales problemas de calidad de la red eléctrica son los siguientes:

- **Interrupción del suministro de energía eléctrica:** estas interrupciones que son causadas ya sea por fallas en las centrales de generación, cortes en las líneas de distribución o la desconexión de la carga, traen consigo la pérdida total del suministro por unos cuantos minutos, perjudicando gravemente a la empresa comercializadora y a los usuarios finales.
- **Interrupción transitoria del suministro de energía eléctrica:** en este caso las interrupciones del suministro de energía eléctrica son de un menor lapso

de tiempo que las anteriores, ya que las mismas son causadas por lo general por la apertura y el cierre de los interruptores.

- **Transitorios:** también conocidas como picos de voltaje; es decir, se caracterizan por un repentino voltaje elevado, pero de corta duración, ocasionado por lo general por la conexión de capacitores o la desconexión de cargas inductivas que se encontraban operando en el sistema, tales como los motores de inducción, etc.
- **Desbalance de voltaje:** se debe por lo general a que el consumo de la energía eléctrica está conectado en mayor parte a una sola de las tres fases del sistema trifásico. La cual se caracteriza por la existencia de la característica asimétrica y desequilibrio del sistema. Por lo cual es necesario buscar una simetría de las cargas en cada una de las fases para que éstas no produzcan desequilibrios en el sistema; es decir, buscar cargar a cada una de las fases con la misma cantidad y tipo de carga [11].
- **Distorsión armónica:** Cuando el voltaje o la corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda senoidal, se dice que la señal está distorsionada, se debe fundamentalmente a la conexión de cargas no lineales al sistema. La distorsión puede deberse a: fenómenos transitorios tales como arranque de motores, conmutación de capacitores, efectos de tormentas o fallas por cortocircuito entre otras; condiciones permanentes que están relacionadas con armónicas de estado estable [12].
- **Mala regulación de voltaje:** se caracteriza por las bajadas y subidas de voltaje, conocidas normalmente como subtensión y sobretensión de duración superior a un minuto. En los sistemas de distribución se debe, en general a un

mal ajuste de los transformadores de alimentación del sistema y un diseño no apropiado a la demanda de los usuarios. Una demanda baja hace subir el voltaje por sobre lo permitido, y una demanda alta produce una bajada de voltaje, ocasionado inconvenientes a los usuarios finales.

- **Parpadeos de la iluminación (Flicker):** El parpadeo, en inglés “flicker”, se define como la “impresión subjetiva de la fluctuación luminosa”. El origen del parpadeo está en el comportamiento de los sistemas de iluminación (lámparas de incandescencia y descarga, principalmente) ante fluctuaciones en la tensión de alimentación. Estas variaciones en la tensión se producen sobre todo por cambios bruscos en las cargas conectadas a la red de energía eléctrica y por contactos de ramas de árboles por las líneas de distribución aérea de MT desnuda [13].

1.3. Calidad del servicio de energía eléctrica

La calidad del servicio eléctrico se define como la capacidad del sistema de energía eléctrica de proporcionar dentro de los límites establecidos, un suministro aceptable para los consumidores. La verificación de la calidad se basa en la continua comparación de los valores previamente establecidos por las compañías de distribución de energía eléctrica con aquellos que se presentan en la operación real de los sistemas a través del tiempo.

Se establece a partir de la continuidad del servicio eléctrico, según la cantidad y duración de interrupciones. Más calidad es fruto de menos cortes y de menor duración [14] [15]; es decir, la calidad de servicio es el conjunto de características tanto técnicas como comerciales, las cuales son inherentes al suministro eléctrico exigibles por los consumidores o usuarios finales y por los órganos competentes de la Administración.

La calidad de servicio viene configurada por el siguiente contenido:

- Continuidad del suministro, relativa al número y duración de las interrupciones del suministro.
- Calidad en la atención y relación con el cliente, relativa al conjunto de actuaciones de información asesoramiento, contratación, comunicación y reclamación.
- Calidad del producto o calidad técnica, relativa a las características de la onda de tensión. Se refiere a los diversos tipos de alteraciones de la onda de tensión. La onda, que es perfecta en las instalaciones de generación, sufre deformaciones principalmente por efecto de maniobras, descargas atmosféricas y averías, que hacen que no llegue en perfectas condiciones a los clientes; éstos disturbios en la mayoría de las veces ocurren en los sistemas de distribución [16] [17].

1.4. Indicadores

Los indicadores utilizados para las redes eléctricas tienen por objetivo cuantificar la calidad del servicio que presenta la red en cualquier punto de consumo. Las metas de calidad deberán de ser fijadas en función de las necesidades del suministro de energía eléctrica que reciben los consumidores.

Los indicadores tenidos en cuenta desde el punto de vista del sistema consideran la magnitud relativa de los consumidores, por lo cual éstos índices permiten evaluar con un mayor grado de precisión el efecto económico de las interrupciones. Para el caso particular del presente trabajo se utilizó el DEP, cuyo indicador es medido en horas y FEP. A través del DEP se demostró la baja confiabilidad que actualmente posee el sistema de distribución de energía eléctrica de la ciudad de Coronel Oviedo.

El indicador DEP se calcula mediante la siguiente expresión:

$$DEP = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \times t_i)}{PotInstalada_{total}}$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n (P_i \times t_i)$ Sumatoria de todos los productos de las potencias individuales, en KVA, por el tiempo de la interrupción, en horas.

$Pot.Instalada_{total}$ Potencia instalada, en KVA, del sistema eléctrico en estudio [18].

Este indicador sirve para medir la continuidad del servicio prestado por la empresa a sus consumidores, el cual se basa en las interrupciones del suministro ocurridas en el sistema de distribución de energía eléctrica. Donde este indicador apunta a medir la calidad del servicio en cuanto a su continuidad.

1.5. Cymdist

Este programa de análisis de redes de distribución permite realizar varios tipos de estudios en sistemas equilibrados o desequilibrados, monofásicos, bifásicos o trifásicos, con configuración radial, en anillo o mallada. El programa fue diseñado para realizar estudios de planeamiento y simular el comportamiento de las redes de distribución en distintas condiciones de funcionamiento y distintos escenarios. Incluye varias funciones incorporadas necesarias para el planeamiento, la explotación y el análisis de las redes de distribución.

CAPITULO 2

LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN PROTEGIDA

2.1. Introducción

Las empresas de distribución en un esfuerzo por mejorar el nivel de calidad de servicio y confiabilidad en el suministro de energía eléctrica suministrada a los usuarios finales, han investigado muchos tipos constructivos diferentes para líneas aéreas de media tensión provenientes de todo el mundo. Uno de esos tipos constructivos ha sido usado en los Estados Unidos por más de 40 años: es el Sistema HENDRIX de cable aéreo con espaciadores (SCAE) [7], al cual también podemos llamarlo como **Sistema de Redes Aéreas Protegidas**.

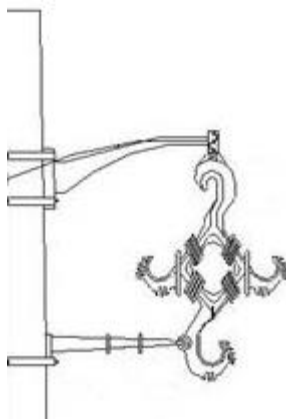


Figura 2.1: Sistema de redes de distribución Tipo aérea protegida en 23 KV

Esta nueva tecnología que ha surgido, el cual está enmarcado a mejorar la confiabilidad de los sistemas de distribución del sistema eléctrico, que está basada en la distribución aérea

mediante conductores protegidos (polietileno reticulado), el cual permite reducir las distancias de aislamiento con respecto a la red de conductores desnudos.

El principal objetivo de las redes aéreas protegidas es la de minimizar las interrupciones del suministro de energía eléctrica provocadas por el contacto eventual o la caída de ramas de árboles sobre las líneas de distribución.

Este tipo de redes es viable para aquellos lugares arborizados, donde las redes de distribución protegida ha mostrado ser una buena solución para la convivencia armoniosa de los conductores y los árboles de las calles públicas; redes con más de un circuito sobre la misma estructura y calles estrechas [7]. Debido a que los conductores se encuentran cubiertos con una gruesa capa de aislación, lo cual permite poder montarlos más próximos unos de otros, como también más próximos a las ramas de los árboles, sin el riesgo alguno de llegar a provocar cortocircuitos en caso de contacto con las mismas o entre los conductores.

Con los conductores protegidos se logra que las redes ocupen un espacio mucho más reducido que las redes aéreas de distribución de conductores desnudos, donde los mismos van instalados en los postes, sostenidos por un hilo portante, conocido como mensajero, de alta resistencia mecánica, y separados mediante la ayuda de los espaciadores aislantes. La combinación de la resistencia mecánica del conductor y de los espaciadores es lo que permite una mayor proximidad de los conductores energizados.

Con este tipo de redes también se logra el aumento significativo de la confiabilidad del sistema eléctrico, reduciendo a la par el indicador DEP y FEP. El sistema permite mantener el suministro de energía eléctrica durante condiciones difíciles tales como la caída de las ramas o árboles sobre los conductores, postes rotos, hasta inclusive cuando las líneas caen

eventualmente de la estructura [19]. Por lo tanto las redes protegidas se han convertido en una solución bastante confiable para la distribución de la energía eléctrica.

2.2. Características

Para tener una mayor calidad en el servicio de distribución, para que de esta manera se llegue a aumentar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica se debe analizar, estudiar y llevar a cabo un cambio en los conductores desnudos a protegidos, ya que los mismos poseen una serie de ventajas frente al sistema de distribución de conductores desnudos, que se dan a conocer a continuación:

- **Seguridad:** reduce los riesgos de accidentes del personal operativo por lo cual se aumenta la seguridad del mismo.
- **Confiabilidad:** reducción del DEP y FEP, mejorando la calidad del servicio técnico debido a la gran disminución de las interrupciones accidentales debido al contacto de ramas de árboles con los conductores. Su configuración compacta reduce el contacto con las ramas de los árboles y por lo tanto las salidas de servicio, por lo cual estos sistemas son más confiables.
- **Medio ambiente:** ofrecen un menor impacto ambiental puesto que reducen la poda de los árboles debido a la disminución del área a ser podada y a la disminución de la frecuencia de las podas. Como el sistema posee un diseño compacto, esto le permite soportar contactos momentáneos con las ramas de los árboles, por lo cual los mismos pueden crecer más cerca de las líneas que los conductores desnudos.
- **Reducción de costos operacionales:** menor intervención en la red, puesto que reduce los costos de mantenimiento tanto preventivo como el correctivo [20] [8].

- **Reconversión:** con este tipo de redes de distribución se tiene la posibilidad de poder montar varias ternas sobre un mismo soporte o estructura, disminuyendo de esta forma la inversión inicial necesaria para las instalaciones de más alimentadores futuros sobre la estructura existente y posibilitando a la vez una mayor potencia transmitida [8].

2.3. Áreas típicas de utilización

Las líneas aéreas de distribución protegida son utilizadas en reemplazo de las líneas aéreas de conductores desnudos y su uso está recomendado para aquellas zonas donde son constantes las salidas de servicio causadas por el contacto de objetos extraños a la red, en lugares donde se requieran mejorar los índices de confiabilidad y seguridad.

Las redes aéreas protegidas resultan técnica y económicamente viables, entre otras, en las siguientes situaciones:

Áreas donde la distancia a las ramas de árbol no puede ser eficientemente controlada.

- a) Construcción de líneas por el centro de manzanas.
- b) Áreas residenciales muy arboladas.
- c) Servidumbres en sitios remotos y/o inaccesibles [21].

Estas zonas que se encuentran densamente arboladas es uno de los principales motivos que impulsaron este trabajo, ya que este problema acarrea consigo la baja confiabilidad del sistema de distribución aérea de la ciudad de Coronel Oviedo, la cual es reflejada en los elevados valores del indicador DEP y FEP de los alimentadores de la ciudad. Y actualmente la ciudad se encuentra con un alto porcentaje de zonas arboladas, las cuales deben de ser podadas de forma continua para que de esta forma se puedan evitar contactos de los mismos

con los conductores, o en el peor de los casos que caigan sobre ellos. Con esta forma preventiva de evitar los fuera de servicio se produce una poda continua de las vegetaciones, lo cual provoca un impacto ambiental negativo para la sociedad. Por lo cual la forma más eficaz de que no se sigan produciendo las interrupciones del suministro de energía eléctrica y evitar la poda de los árboles es la de realizar la sustitución de las líneas aéreas de distribución de conductores desnudos por las líneas aéreas de distribución protegidas, ya que estos conductores y sus aisladores son fabricados en polietileno de alta densidad, irrompibles y resistentes al vandalismo y al contacto de las ramas de los árboles.



Figura 2.2: Zonas arboladas

Áreas con problemas de confiabilidad como:

- a) Probabilidad de tormentas que incluyen vientos fuertes.
- b) Caída de ramas de árbol.
- c) Accidente por choque automóvil/poste.

- d) Zonas donde se exige un elevado índice de confiabilidad, debido de la importancia de los consumidores, tales como los hospitales, emisoras de televisión, edificios gubernamentales, entre otras.
- e) Áreas de alto nivel isocerámico.

Aplicaciones en espacios reducidos como:

- a) Circuitos múltiples a la salida de subestaciones.
- b) Franja de servicio reducida.
- c) Para cumplir distancias de seguridad reglamentaria con respecto a edificios [21].



Figura 2.3: Distancia de seguridad respecto a edificios

2.4. Partes componentes de una línea de distribución aérea de MT protegida

Las líneas de distribución aérea de MT poseen componentes diferentes que las líneas aéreas de conductores desnudos, las cuales daremos a conocer a continuación:

2.4.1. Conductores

Las redes compactas aéreas están compuestas por tres conductores cubiertos con una capa de material polimérico apoyados en separadores que también son de polímero, suspendido por un cabo mensajero.

Los materiales poliméricos utilizados en la cubierta de los conductores son el XLPE, resistente a la radiación solar y el HDPE, pudiendo encontrarse actualmente conductores con una cubierta de doble capa; una capa interna en LDPE o XLPE y la externa en HDPE.

En la aislación de los conductores, se tienen las de doble camada, donde las mismas cuentan sobre la capa semiconductor con una cubierta interna de XLPE natural y una externa de HDPE tratado de color negro o gris cielo, que poseen las mismas características eléctricas que los accesorios. Estas coberturas reducen notablemente la corriente de fuga y en caso de los contactos accidentales de los conductores con objetos puestos a tierra o entre fases. Es de relevancia también mencionar que este tipo de sistema permite la disminución del espacio entre las fases, brindando de esta manera una seguridad y confianza al sistema y a los clientes finales o usuarios. Como alternativa, los cables de simple camada, están dotados de una cobertura de XLPE natural, con propiedades contra el encaminamiento (tranking) en todo su volumen, resistente a la intemperie y a las radiaciones solares.



Figura 2.4: Conductores de Simple y Doble Capa [6]

Los conductores poseen un sistema de bloqueo longitudinal que cierra todo orificio posible entre hilos del conductor compacto evitando el ingreso de la humedad a cualquier tramo del cable [8]

Estos cables son del tipo protegidos, los mismos no se tratan de cables aislados, por lo cual los procedimientos necesarios para su mantenimiento y operación deben ser similares a aquellos utilizados para líneas aéreas no aisladas.

Existen secciones que están desde los 35mm² hasta los de 185mm², por lo cual para el proyecto dependiendo de las características de la red se deberá utilizar dichas secciones comerciales disponibles.

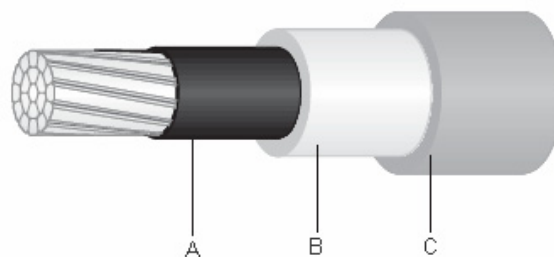


Figura 2.5: Conductor de Simple y Doble camada o capa

Donde:

A: Blindaje semiconductor.

B: Polietileno de baja densidad sin carga.

C: Polietileno de alta densidad negro o gris.

En la imagen anterior se puede apreciar las partes componentes de los conductores protegidos, donde la capa interior del mismo es a base de polietileno natural de alto peso molecular, sin cargas. Este material es el que provee características eléctricas superiores a otros polietilenos similares, pero con cargas. La capa externa indicada con la letra “C” consiste en polietileno de alta densidad y de alta resistencia al “tracking”. Mediante esta resistencia a la abrasión es el que otorga una protección física para los roces contra las respectivas ramas de árboles que se encuentran ubicadas bajo las líneas aéreas de distribución de conductores desnudos.

2.4.2. Cable mensajero

Las redes de distribución protegidas utilizan un cable de alta resistencia mecánica para que pueda actuar como soporte de los conductores, puesto que de los mismos están suspendidos a intervalos regulares los conductores de fase del sistema; sirven también como blindaje ante las descargas atmosféricas y además realiza la función neutral del sistema. Los cables mensajeros se pueden dividir en dos grupos, que son:

- **ACSR/AW** formado alambres de aluminio duro y por alambres de acero recubierto de aluminio alumoweld (AW).
- **AW** (Alumoweld) está formado solo por alambres de acero y recubiertos de aluminio [22].

La versión **ACSR/AW** es la más empleada para las instalaciones, puesto que combina gran resistencia mecánica con una alta conductividad. En cambio los mensajeros **AW** son empleados para aquellos donde el esfuerzo mecánico al cual estará sometido es muy elevado.

En las instalaciones de las líneas aéreas protegidas siempre se tiende y se tensiona primero el cable mensajero o portante antes de instalar los conductores, ya que éstos servirán para el sostén de los mismos.



Figura 2.6: Cable portante o mensajero

El cable mensajero o portante tiene básicamente cuatro aplicaciones, las cuales se mencionan a continuación:

- Cable mensajero con función de protección mecánica: Protege de la caída o el contacto de las ramas de los árboles y de objetos extraños a la red de distribución.
- El cable portante es el miembro resistente que da todo el soporte mecánico a los conductores de fase y a los espaciadores.
- El cable portante actúa como conductor neutro del sistema, dando de esta manera un camino con puesta a tierra múltiples para las corrientes de neutro.
- El cable mensajero proporciona un blindaje de protección pararrayos, ya que tiene características de operación similares a un hilo de guarda instalado en la cima de los postes de una línea de transmisión. Para asegurar la protección de pararrayos es necesario prever adecuadas y frecuentes puestas a tierras del cable portante [7]

2.4.3. Accesorios

Dentro de los cuales podemos encontrar los siguientes, que se irán describiendo a continuación.

2.4.3.1. Accesorios poliméricos

En las líneas aéreas de distribución son utilizados varios accesorios, entre éstos los espaciadores de polietileno.

Se describen a continuación los accesorios polímeros que son utilizados en los proyectos de líneas aéreas de distribución protegida.

- **Aisladores:** accesorio de polietileno de alta densidad cuya función es la sujeción de los conductores semiaislados, y el aislamiento de estos con la estructura tipo “C” sobre el cual van instalados. Estos aisladores para sujetar a los conductores se procede a la instalación de gomas de silicona mediante los pernos, ya sea que se utilicen como soportes de alineación y de paso.

Dentro de los aisladores hay una clasificación, las cuales se puede apreciar a continuación.



Figura 2.7: Aisladores tipo pin

Los aisladores de polietileno se usan en las líneas de distribución protegidas o en las de conductores desnudos.

También se pueden encontrar los aisladores polimérico tipo pin con grapa incorporada, este tipo de aislador en una alternativa al método anterior de asegurar los cables al aislador anterior por medio del alambre para ataduras, ya que el aislador tiene una grapa para la sujeción de las fases. El aislador es una pieza la cual fue desarrollada por el proceso de inyección de polietileno de alta densidad [20]. La grapa está en la parte superior del aislador, siendo su ventaja el ahorro de tiempo en el montaje debido a que ya no se realiza el amarre. Si se va a montar este tipo de aislador en una red con cables desnudos, los aisladores deben tener insertos de aluminio en las mordazas de las grapas. [23]



Figura 2.8: Aislador polimérico tipo pin con grapa incorporada

Sus características técnicas se muestran a continuación:

- Resistencia a la intemperie y al tracking.
- Material: polietileno de alta densidad.
- Es de color gris ceniza.
- Altísima resistencia al impacto, golpes y a los actos vandálicos.
- Son livianos.
- Pueden ser intercambiables con aisladores de porcelana.

Además de los anteriores aisladores mencionados se tienen a los aisladores para retención, donde su núcleo está compuesto por fibra de vidrio el cual proporciona una

rigidez dieléctrica y una buena resistencia mecánica, toda esta parte interna esta revestida por una cubierta polimérica la cual protege al núcleo de la radiación ultravioleta y de la humedad.

Aunque son prácticamente irrompibles son también muy livianos, el material del cual están hechos estos aisladores hace que resistan al vandalismo y a la intemperie, evitan fugas de corriente y tienen buena hidrofobicidad, es decir repele en su mayoría la humedad que queda en la superficie del aislador.

Estos aisladores de retención cumplen con la función de aislar los conductores de fase de tierra en los circuitos terminales o estructuras de retención.



Figura 2.9: Aislador para retención [23]

- **Anillos de sujeción:** los anillos de sujeción se utilizan en los espaciadores que no vienen con grapas incorporadas, son utilizadas para asegurar los conductores y el mensajero al espaciador. Pueden reemplazar también a los estribos, los cuales sujetan al espaciador a la ménsula cuando la red pasa por el poste.

Los anillos de sujeción son de goma EPDM, la cual aprieta los conductores firmemente en condiciones de corto circuito y más aún en condiciones normales de trabajo, su instalación en los espaciadores es fácil ya sea de forma manual o en caliente. Es resistente a la oxidación, a la intemperie, a los agentes atmosféricos y al calor; por lo que los anillos de sujeción son de larga duración y resistentes a los rayos ultravioletas.



Figura 2.10: Anillos de sujeción y utilización [23]

- **Espaciadores:** accesorio de forma romboidal, poligonal con garras o vertical realizado en material polimérico para su utilización en líneas protegidas. Colgado de un cable mensajero, su función es la sustentación y separación de los cables protegidos a lo largo del vano, manteniendo la aislación eléctrica de la línea.

En la parte ecológica, su diseño permite una armonía con el medio ambiente, es decir, evitando la tala de los árboles al momento en que las ramas toquen las líneas, o tender la red a través de bosques que están protegidos.

El espaciador poligonal está fabricado en polietileno de alta densidad de color ceniza y fue desarrollado exclusivamente para obtener excelentes características mecánicas y satisfacer los requisitos de resistencia a los rayos ultravioleta, al tracking eléctrico y a la intemperie, exigidos en este tipo de líneas.



Figura 2.11: Espaciador polimérico poligonal y vertical

Existen varios modelos de espaciadores: sin grapas incorporadas, con grapas incorporadas, con grapas para desvíos mayores a 20° , los cuales se van a detallar a continuación:

- **Espaciadores sin grapas incorporadas** este tipo de espaciador asegura las fases y al mensajero mediante anillos de sujeción.
- **Espaciadores con grapas incorporadas** este modelo tiene las mismas aplicaciones que el modelo anterior, la diferencia radica en que el espaciador tiene grapas incorporadas para asegurar a las fases y el mensajero, haciendo que su montaje y remoción sean más rápidas y sencillas. Las grapas están diseñadas para sostener todas las secciones de los conductores y del mensajero.



Figura 2.12: Espaciador con grapas incorporadas [23]

El espaciador con garras fue desarrollado para cubrir los requerimientos eléctricos y mecánicos en ambientes típicos de una red de distribución aérea. El espaciador fue proyectado con un mecanismo especial que asegura el cable utilizando una garra que mantiene la presión de apriete a través de un sistema mecánico [7] [8]

- **Espaciadores con grapas para desvíos mayores a 20°** este espaciador es una opción para las redes que presentan desvíos mayores a 20°, el cual posee una grapa metálica de sujeción con una especie de articulación giratoria para que el espaciador quede vertical aunque el mensajero este inclinado según la pendiente.

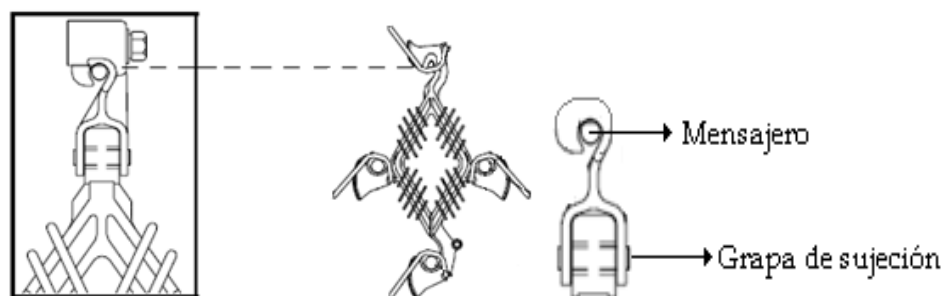


Figura 2.13: Espaciador para desvíos mayores a 20° [23]

- **Coberturas protectoras:** en las líneas aéreas de distribución protegidas se deben montar sobre el mensajero, en la proximidad de los bornes de los transformadores a fin de eliminar cortocircuitos causados por efecto de las ramas, pájaros u otros objetos extraños.



Figura 2.14: Coberturas protectoras [24].

- **Alambre recubierto para ataduras:** también conocido como preformado plástico o atadura plástica es un accesorio preformado fabricado en polietileno de alta densidad cuya función es la de sujetar el cable protegido al espaciador o al aislador de polietileno.



Figura 2.15: Alambre recubierto para ataduras y su instalación

- **Ménsula:** son accesorios donde se montan los espaciadores, o aisladores dependiendo del ángulo de desviación de la red para soportar el tendido del cable [23].
 - **Ménsula para redes alineadas** estas ménsulas se implementan en redes alineadas o en desvíos de hasta 6° .
 - **Ménsula antibalanceo:** su función es la de reducir las vibraciones mecánicas de las redes compactas, reducir el balanceo del conjunto de conductores por acción del viento, además de permitir realizar pequeños ángulos en suspensión, están diseñadas para utilizarse en los postes de alineación. Están fabricados en polietileno de alta densidad e incluyen una horquilla con un perno para ser conectadas a los espaciadores mediante el agujero de acople.

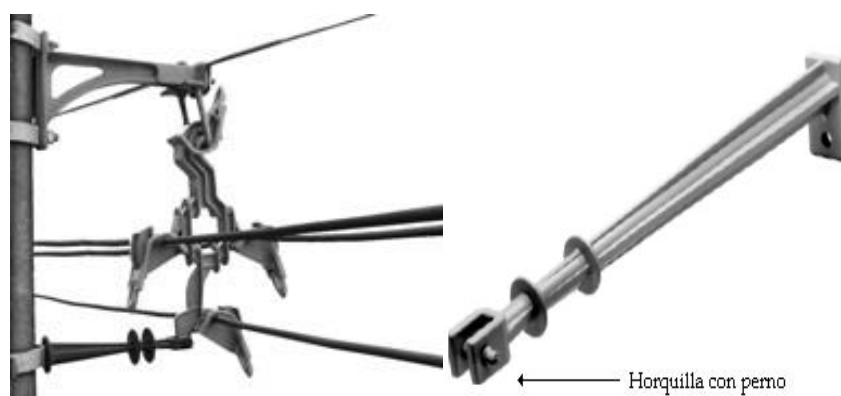


Figura 2.16: Ménsula antibalanceo y su utilización [23].

2.4.3.2. Accesorios metálicos

- **Herraje o brazo tipo “L”:** constan de un cuerpo principal en forma de percha, el cual está destinado a soportar el conductor portante o mensajero y a los espaciadores, por medio de un estribo metálico en forma de U. El extremo del herraje cuenta con una mordaza biplaca cuya función es la de fijar el cable de acero construido en fundición nodular galvanizada.

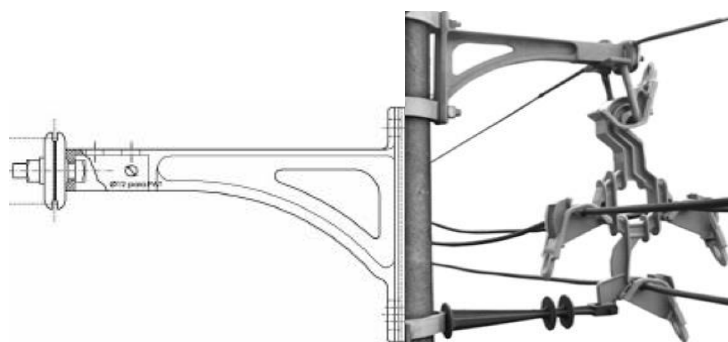


Figura 2.17: Brazo tipo “L” y su implementación

- **Herraje o brazo tipo “C”:** su función es la de soportar los conductores de la línea de distribución en el caso de suspensiones en ángulos importantes, derivaciones, amarres y en las finales de líneas construido en perfiles de hierro.

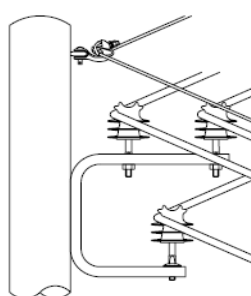


Figura 2.18: Instalación de herrajes o brazo tipo “C”

- **Grapas de sujeción preformada para mensajero:** se utiliza cuando éste tiene la función de retención como por ejemplo en vanos largos, estructuras terminales o en

ángulos de desvío de las líneas de distribución protegida, es decir, cuando el mensajero se sujeta del poste. Ambas partes de la grapa tienen marcados en él los rangos admisibles de mensajero, por lo tanto se debe seleccionar el adecuado para que de ésta manera se pueda garantizar que la fuerza de apriete en los cables portantes o mensajero sea la correcta. Construido en fundición maleable y galvanizada por inversión.



Figura 2.19: Grapas de sujeción del cable mensajero [23].

- **Grapa de desvío mensajero:** están elaboradas en fundición maleable y galvanizado por inmersión. La primera imagen de la figura mostrada a continuación se utiliza solamente en los desvíos internos y se bulona sobre la ménsula de desvío. En cambio para los desvíos externos a la línea de distribución aérea protegida se utiliza la segunda grapa de la imagen, pero la misma se vuelve a asegurar a la ménsula con un bulón en “U”.



Figura 2.20: Grapa de desvío de mensajero

- **Estribo para ménsula de alineación:** es un accesorio utilizado para la instalación de los sistemas aéreos de distribución protegida, el cual se utiliza para sostener al espaciador cuando el mismo va montado directamente debajo de un brazo tangente.

Se fija en el agujero cercano al extremo del brazo tangente utilizando el perno provisto para tal fin. Esta construido en fundición maleable y galvanizado por inmersión [24].

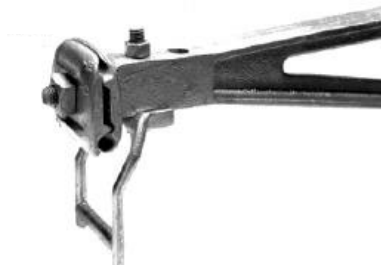


Figura 2.21: Estribo para ménsula de alineación.

- **Horquillas:** también conocido como Guardacabo, se tiene tres tipos de horquillas: guardacabo horquilla para servicio pesado, guardacabo horquilla y la horquilla con pasador.
 - **Guardacabo horquilla** este tipo de horquillas son las que se montan en las curvas de las grapas de retención tanto para las fases como para el mensajero, el guardacabo horquilla no daña las curvas de las grapas mencionadas con anterioridad.



Figura 2.22: Guardacabo horquilla preformada para mensajero.

- **Guardacabo horquilla para servicio pesado** posee las mismas aplicaciones que el guardacabo horquilla con la diferencia que el guardacabo horquilla para servicio pesado tiene una mayor carga de rotura, casi cuatro veces mayor que el anterior.



Figura 2.23: Guardacabo horquilla para servicio pesado para mensajero.

- **Horquilla con pasador** son utilizadas cuando se necesita sostener los aisladores de suspensión a las correspondientes ménsulas [24].



Figura 2.24: Horquilla con pasador preformado para mensajero.

- **Guía tubular para mensajero:** facilita la instalación del mensajero en los sistemas aéreos de distribución protegido. La guía tubular de mensajero está construida en aluminio-bronce y se provee con la herrajería necesaria para montar en cualquier brazo tangente [24].



Figura 2.25: Guía tubular para mensajero

- **Ménsulas:** son accesorios donde se montan los espaciadores, o aisladores dependiendo del ángulo de desviación que presente la red de distribución protegida para que de esta manera pueda soportar el tendido del cable. Las mismas pueden ser clasificadas de la siguiente forma: ménsula para redes alineadas, ménsulas tangente o de alineación, ménsula para redes con ángulos de desvío dentro de las cuales se vuelven a subdividir, ménsula antibalaceo y la ménsula de retención terminal [23].
 - **Ménsulas para redes alineadas** éstas ménsulas se implementan en las redes alineadas o en los desvíos de la línea de distribución protegida de hasta unos 6° .
 - **Ménsula tangente o de alineación** este tipo de ménsulas poseen una grapa para la sujeción del mensajero. Con estas ménsulas es posible realizar el tendido de vanos largos, es decir mayores a 40m, la cual es la distancia de poste a poste que debe tenerse en cuenta para la elaboración de las redes protegidas, en estos vanos los cuales se encuentran alineados en forma consecutiva y los tres conductores a la vez, lo cual implica que si se aplica estas ménsulas habrá menor número de postes.



Figura 2.26: Ménsula tangente o de alineación

- **Ménsulas para redes con ángulos de desvío** dentro de este tipo de ménsula se vuelven a subdividir en: ménsulas de desvío para redes con un circuito, ménsulas de desvío para redes con doble circuito, ménsulas de desvío en configuración vertical y ménsulas de retención terminal; todas estas ménsulas

poseen un perfil en U, las cuales son galvanizadas por inmersión en caliente después de su construcción y tienen refuerzos de hierro soldados en las esquinas para aumentar los esfuerzos y las resistencias.

- **Ménsulas de desvío para redes con un circuito** este tipo de ménsulas mantiene la configuración original de la red (en triangulo), tal como se puede llegar a apreciar en la siguiente figura:



Figura 2.27: Ménsula de desvío para redes con un circuito [23]

La otra aplicación que se le da a este tipo de ménsulas es para los vanos largos en línea recta con retención del mensajero, en vez de utilizar el espaciador debido a que el mensajero va retenido al poste mediante el aislador de suspensión.

- **Ménsulas de desvío para redes con doble circuito** esta es una ménsula que se utiliza cuando se tiene un sistema de distribución aérea protegida con doble circuito, aunque la configuración ya no es triangular sino lineal,

aun con esto se sigue manteniendo el espacio compacto entre las respectivas fases sin riesgo alguno de ocurrencia de cortocircuito.

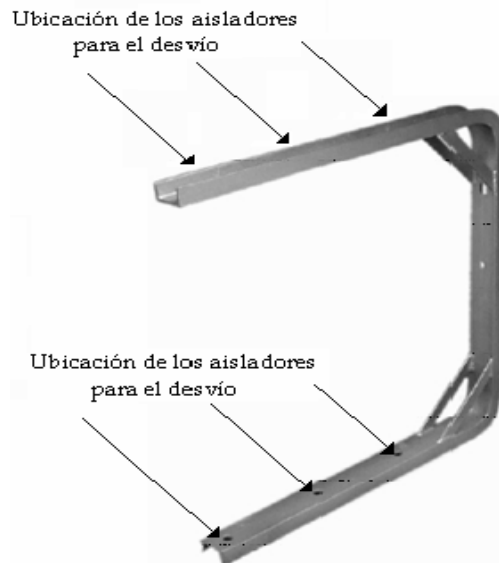


Figura 2.28: Ménsula de desvío para redes con doble circuito [23]

- **Ménsulas de desvío en configuración vertical** esta ménsula tiene las mismas aplicaciones y características que el accesorio anterior, con la salvedad de que los conductores de fase están dispuestos de forma vertical.



Figura 2.29: Ménsula de desvío en configuración vertical [23]

- **Ménsula de retención terminal** esta ménsula es la que se utiliza para los finales de los circuitos, manteniendo la configuración triangular de los espaciadores, en este caso el mensajero se monta por encima de la ménsula directamente al poste.

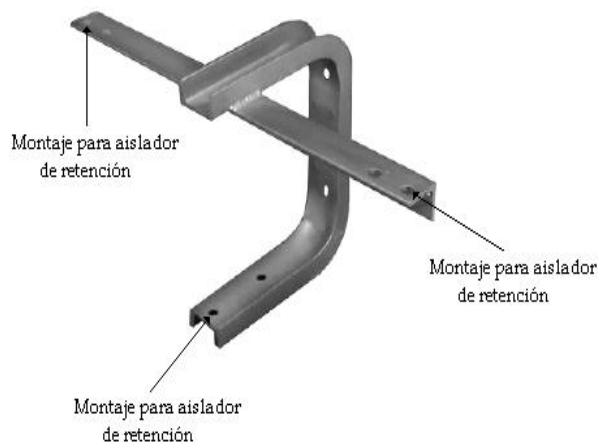


Figura 2.30: Ménsula de retención terminal [23]

- **Pernos para aisladores de polietileno:** se utilizan para montar los aisladores de polietileno en las ménsulas del sistema de distribución aérea protegida. Existen dos tipos de pernos: pernos para montaje en ménsula (de cola corta) y pernos para montaje en cruceta convencionales (de cola larga). El diámetro de la rosca para el perno para aisladores montados en las crucetas es de 2,54 cm, mientras que para el perno del aislador montado en las ménsulas el diámetro de la rosca es de 3,4925 según la norma ANSI. Su cabeza tiene rosca estándar recubierto de polietileno y su cuerpo es de acero forjado y galvanizado por inmersión.



Figura 2.31: Pernos para aislador montado en ménsula y en cruceta [23]

- **Placa para doble aislador o pletina de unión:** es un accesorio que permite la instalación de dos aisladores por fase cuando se tienen ángulos de curvatura fuertes, dividiendo el esfuerzo mecánico en los dos pernos de los aisladores. Está construida en fundición maleable de acero y posteriormente galvanizada por inmersión en caliente [24].



Figura 2.32: Placa para doble aislador o pletina de unión

- **Estructuras Tipo** Los accesorios que componen cada una de las estructuras tipo se dará una breve explicación de cada una de ellas de acuerdo a su aplicación [23].
 - **Estructuras Tangentes** este tipo de estructura se utiliza para redes lineales o desvíos con ángulos no mayores a 6° , básicamente se compone de una ménsula tangente, un espaciador y una ménsula antioscilaciones.
 - **Estructuras con ángulos de desviación menores a 45°** para este tipo de estructuras se utilizan las ménsulas para ángulos de desvío como se analizó anteriormente, con ángulos menores a 45° se necesita un solo aislador tipo pin por cada fase, tomando en cuenta si los ángulos son internos o externos.
 - **Estructuras con ángulos de desviación mayores a 45°** para redes con ángulos comprendidos entre 45° y 60° este tipo de red utiliza placa para doble aislador siempre y cuando el calibre de la fase sea mayor o igual a 336,4 AWG mientras que para ángulos mayores siempre se utiliza esta placa.

- **Estructura derivación al transformador** la derivación se realiza directamente de la línea al transformador mediante una estructura tangente, es decir, ménsulas tangentes, de antibalanceo, espaciadores ya que el transformador está en el poste. Obviamente se tienen derivaciones a transformadores trifásicos y monofásicos.

Para realizar la derivación de las fases al seccionador y de ahí al transformador se utiliza un cable protegido para derivaciones el cual está cubierto de una capa de 3.8mm de espesor, esta capa está hecha de un compuesto elastomérico flexible color negro, disminuyendo las salidas de servicio por algún contacto accidental.

A continuación se presenta la forma física del conductor:

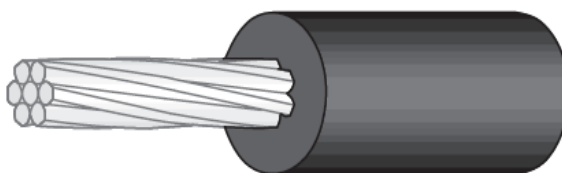


Figura 2.33: Cable para derivaciones [23]

- **Estructura de transición de red con conductor desnudo a red con cable protegido** para esta estructura se utilizan las crucetas convencionales, allí se montan los aisladores tipo pin los cuales van sujetos por un perno espiga para crucetas de conductores desnudos, además de un aislador de retención para cada fase tanto para la sujeción de la red desnuda como la red con cable protegido.
- **Estructura de retención terminal** En esta estructura se utiliza la ménsula especificada anteriormente para esta aplicación además de los aisladores de retención que también se los utiliza como fin de circuito.

CAPÍTULO 3

EQUIPOS DE MANIOBRA Y PROTECCIÓN

Son similares a los utilizados en las redes de distribución convencionales, así los equipos de maniobra según [25], serán:

3.1. Seccionadores fusibles

Los cuales son elementos de protección que operan en los casos de cortocircuito, produciendo la apertura del circuito al cual protegen. Normalmente instalados en las derivaciones y en las acometidas de los usuarios de MT.

3.2. Seccionadores de línea

Estos son elementos de maniobra instalados sobre el troncal del alimentador y generalmente son del tipo cuchilla, siendo operables con tensión y carga a través de un elemento de maniobra conocido como loadbuster. Existen además los seccionadores “bajo carga”, los cuales son de accionamiento tripolar.

3.3. Reconectores

Es un dispositivos de protección instalados sobre los troncales de los alimentadores o en los ramales de cierta longitud, y tiene la particularidad de responder a una curva, corriente-tiempo de tipo hiperbólica definida, es decir que al aumentar la corriente circulante por

encima de un valor prefijado, el dispositivo abre sus contactos y vuelve a cerrar en un cierto tiempo (recierre). Esta operación puede repetirse hasta 3 veces quedando abierto en forma permanente, aislando así el tramo con probable avería.

Mientras que los equipamientos utilizados para la protección de las líneas aéreas de distribución protegida también son similares a las implementadas en las líneas convencionales, es decir: [25] [26]

3.4. Protección de máxima corriente

Los circuitos primarios de las redes aéreas compactas serán protegidos contra fallas de cortocircuito (máxima corriente) con los mismos tipos de dispositivos adoptados para las redes de conductores desnudos.

3.5. Protección contra las sobretensiones

La protección contra sobretensiones en las redes aéreas compactas será realizada mediante los descargadores de óxido de zinc, adecuadamente dimensionados e instalados, de modo a obtener el mayor empleo del equipamiento protector y la máxima protección para la red.

Localización de los descargadores: se recomienda la instalación de los descargadores de sobretensión en:

- Todas las uniones de las líneas aéreas de distribución protegida con otros tipos constructivos de líneas, tales como: la transición a desnuda y a subterránea.
- En las estructuras terminales.
- En los puntos intermedios de las líneas de distribución

3.6. Puesta a tierra

Para las puestas a tierra se deben utilizar los conductores continuos sin uniones ni empalmes a fin de prevenir la discontinuidad en el conductor. Tampoco deben llevar en su trayecto fusibles, interruptores automáticos, ni interruptores. La pérdida de la conexión de puesta a tierra debido a la operación de un fusible, interruptor automático o interruptor iría frecuentemente en contra del propósito de una puesta a tierra.

El cable de acero galvanizado de sustentación deberá ser vinculado a tierra en, como mínimo, los puestos de transformación [25] [26].

En los sectores donde no existan puestos de transformación deberá ser vinculado a tierra en intervalos de 300 a 500 metros. Donde el valor de la puesta a tierra debe ser como máximo de 25 ohmios, según ANSI

Mientras que para la puesta a tierra temporaria en los circuitos primarios con conductores cubiertos se deberá instalar por intervalos de aproximadamente 300 (trescientos) metros, soportes con conectores tipo cuña para la ejecución de servicios de mantenimiento a la red en condiciones de seguridad operativa [26].

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

Para el análisis es indispensable conocer los costos de materiales, equipos y mano de obra, así como también se incluirá un cierto porcentaje para los imprevistos que pueden surgir en el desarrollo del proyecto. Hay varios modelos utilizados comúnmente por la ingeniería económica para determinar la rentabilidad de los proyectos. En el presente proyecto se emplearan los siguientes métodos [27] [28]:

4.1. Flujo de caja proyectada

El flujo de caja es un estado financiero básico que presenta de una forma dinámica, el movimiento de entradas y salidas de efectivo en un periodo determinado de tiempo y la situación de efectivo al final del mismo periodo. Es decir, muestra el plan de ingresos, egresos y saldos de efectivos proyectados. Sin embargo, la importancia del flujo de caja es que nos permite conocer en forma rápida la liquidez de un negocio, entregando información clave que ayuda a tomar decisiones.

A partir del flujo de caja podemos determinar el VPN, la TIR y el PRI.

4.2. Valor presente neto (VPN)

El valor presente simplemente significa traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. En términos formales de evaluación económica, cuando se trasladan

cantidades del presente al futuro se dice que se utiliza una tasa de interés, pero cuando se trasladan cantidades del futuro al presente, como en el cálculo del VPN, se dice que se utiliza una tasa de descuento.

El Valor Presente Neto se calcula mediante la expresión:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

FNE_n = Flujo neto de efectivo del año n, que corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año n.

P = Inversión inicial en el año cero.

i = tasa de referencia (la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en los mercados financieros con un riesgo similar).

- **Inversión Inicial:** donde se tendrán en cuenta el costo de mano de obra, materiales y equipos, así como un cierto porcentaje destinado a los imprevistos que puedan ir surgiendo. Los costos serán parte de una investigación de mercado para tomar anotaciones a cerca de los precios actuales de los mismos.

4.3. Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

Es el rendimiento anual que tiene la inversión y puede ser expresada como una tasa de rendimiento o de ganancia anual. Es decir, es el rendimiento que genera cada unidad monetaria invertida en porcentaje (%).

La Tasa Interna de Rendimiento se calcula mediante la siguiente expresión: TIR es la tasa de descuento que hace que el $VPN = 0$, por lo tanto se tiene:

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

4.4. Periodo de retorno de la inversión (PRI, Payback)

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

El periodo de retorno de la inversión se calcula mediante la siguiente expresión [28]:

$$PRI = [PUFAN] + \left[\frac{ABS}{VFCSP} \right]$$

Donde:

PUFAN = Periodo ultimo con flujo acumulado negativo.

ABS = Valor absoluto del ultimo flujo acumulado negativo.

VFCSP = Valor del flujo de caja en el siguiente periodo.

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 5

5.1. Descripción del trabajo

El proyecto final de grado se enfoca en las normas para la elaboración de un proyecto de sustitución de líneas de distribución aérea de conductores desnudos a un sistema con espaciadores, durante el proceso de elaboración se realizan entrevistas con profesionales del área de distribución principalmente, así como profesionales del área de la economía para la valoración del análisis económico del proyecto. A través de éstas entrevistas se espera lograr una adecuada comprensión de la propuesta y su aplicación en el campo, se busca también obtener destrezas en el área de la ingeniería a ser aplicados en la elaboración del proyecto.

El proyecto de sustitución de las líneas de distribución aéreas existentes por el sistema protegido, donde el principal elemento sobre el cual se trabaja serán los 2 alimentadores COV3 y COV6, cuyo trayecto está representado en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo, llegando al mismo a través del levantamiento de campo de la trayectoria de los alimentadores que recorren las principales zonas de la ciudad de Coronel Oviedo, efectuado con la ayuda de terceros puesto que el método utilizado para dicho levantamiento de campo es el de poste aposte midiendo con cinta métrica de 50 metros de largo y acompañar con anotaciones en hojas bloc sujetadas a través de planchetas.

Al tener el proyecto elaborado en su totalidad se realiza el análisis económico de la sustitución de los 2 alimentadores de distribución aéreo de MT.

5.2. Justificación

La ciudad de Coronel Oviedo con una superficie total de 878,8km² [29] está ubicada estratégicamente en el centro mismo de la región oriental, por la misma circulan las más importantes carreteras del país y actualmente ha ido presentando un aumento considerable en su población (Total de Personas: 85.499 hab.) [30]. Contando hasta la fecha con una cantidad de habitantes de 120.632 por lo cual ésta situación conlleva a un aumento considerable en el consumo de la Energía Eléctrica.

Actualmente la ciudad de Coronel Oviedo cuenta aproximadamente con un total de 42.000 usuarios de la ANDE en las categorías de media y baja tensión, en grupos de consumo residenciales, comerciales e industriales, entre los cuales son usuarios residenciales 14.000, industriales 700 y comerciales 3000. En los últimos tiempos el aumento en el consumo de Energía Eléctrica ha ido en aumento en las categorías de baja y media tensión con un consumo total en la fecha de 35MVA en condiciones normales de funcionamiento dejando con solo un 15.86% de energía disponible del total de la capacidad en la Estación Coronel Oviedo.

En donde cabe resaltar que por la importancia que radica hoy en día en la ciudad de Coronel Oviedo por su estratégica ubicación, notable aumento en la población y en el consumo energético, necesita de una mejor calidad del servicio en el sistema de distribución de energía eléctrica, puesto que el sistema actual de acuerdo a los índices mostrados ofrece una baja confiabilidad en el suministro de la energía eléctrica de MT.

Como un sistema eléctrico de distribución es el responsable de unir todas las cargas de una determinada zona; desde el punto de vista operativo es necesario contar con un sistema de distribución confiable, seguro, flexible, económico, tan amplio como lo exija el consumo y adaptado a las cargas particulares que debe servir.

Por tanto con éste proyecto de fin de grado se busca paliar estos inconvenientes que aquejan al sistema de distribución de MT mediante el mejoramiento de las mismas a través de un cambio del tipo de línea de distribución aérea de los alimentadores de la ciudad Coronel Oviedo, es decir pasar el sistema actual de distribución desnuda a un sistema de distribución protegida de MT, con lo cual se tendrá mejoras en el mencionado sistema, beneficiando a la ANDE, como así también fundamentalmente a los usuarios finales del servicio de energía eléctrica de la ciudad Coronel Oviedo y al medioambiente, ya que con este nuevo sistema de distribución se disminuye la poda frecuente de los árboles en volumen y frecuencia.

5.3. Finalidad del proyecto

Con la elaboración del proyecto final de grado se pretende:

- Mejorar la calidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica de MT brindada por la ANDE a los usuarios finales.
- Reducir los fuera de servicio ocasionados en su mayoría por contactos de ramas de árboles u objetos extraños con los alimentadores de distribución aéreo.
- Reducir el volumen y frecuencia de poda de árboles ubicados bajo las líneas contribuyendo a la par con la reducción del impacto ambiental ocasionado por las podas predatorias.
- También, se busca analizar la factibilidad económica de la implementación de los conductores protegidos en los 2 alimentadores de MT de la ciudad de Coronel

Oviedo, demostrando de esta manera que el proyecto es viable y producirá beneficios a los usuarios, a la ANDE como así también al medio ambiente.

5.4. Metas

- Mejorar el suministro de energía eléctrica del sistema de distribución aérea de MT.
- Realizar un análisis económico que justifique la implementación de los conductores protegidos en los 2 alimentadores de distribución aérea de la ciudad de Coronel Oviedo.

5.5. Objetivos

5.5.1. Objetivos generales

Elaborar un proyecto ejecutivo de sustitución de línea aérea de MT con sistema desnudo por un sistema de distribución aérea protegido de alimentadores que atienden la ciudad de Coronel Oviedo.

5.5.2. Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de campo de los alimentadores existentes conforme norma de proyecto de ANDE.
- Elaborar proyecto ejecutivo de construcción de línea protegida de media tensión a partir del levantamiento de campo efectuado.
- Realizar el análisis costo-beneficio del proyecto de sustitución de líneas de media tensión.

5.6. Beneficiarios

El proyecto de sustitución de línea de distribución aérea de conductores desnudos a un sistema de distribución aérea basada en los conductores protegidos de MT, traerá consigo beneficios de forma directa a la ANDE y a los usuarios del suministro de energía eléctrica de la ciudad de Coronel Oviedo, departamento de Caaguazú, puesto que los 2 alimentadores COV3 y COV6 sobre los cuales está basado el proyecto alimenta la parte mayoritaria de la mencionada ciudad, brindando de esta forma mayor calidad y confiabilidad al suministro de la energía eléctrica.

5.7.Producto

El principal producto es la elaboración del proyecto ejecutivo de sustitución de los 2 alimentadores de conductores desnudos a un sistema de conductores protegidos, que resulte en una mejora de la calidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica en MT.

5.8. Localización física y cobertura espacial

Los dos alimentadores sobre los cuales se proyectó la sustitución de línea de distribución aérea compuesta por conductores desnudos a un sistema protegido o con espaciadores en MT, corresponden al COV3 y COV6 los cuales abastecen la parte mayoritaria de la ciudad de Coronel Oviedo, éstos alimentadores se encuentran conectados a la estación transformadora de la ANDE ubicada en la mencionada ciudad, perteneciente al departamento de Caaguazú, localizada en el barrio cruce aproximadamente a unos 500m de la terminal de ómnibus, donde sus 7 alimentadores son aéreos con un sistema de distribución basada en conductores desnudos, siendo subterráneas solamente las salidas de la estación con conductores de 240mm².



Figura 5.1: Departamento de Caaguazú.

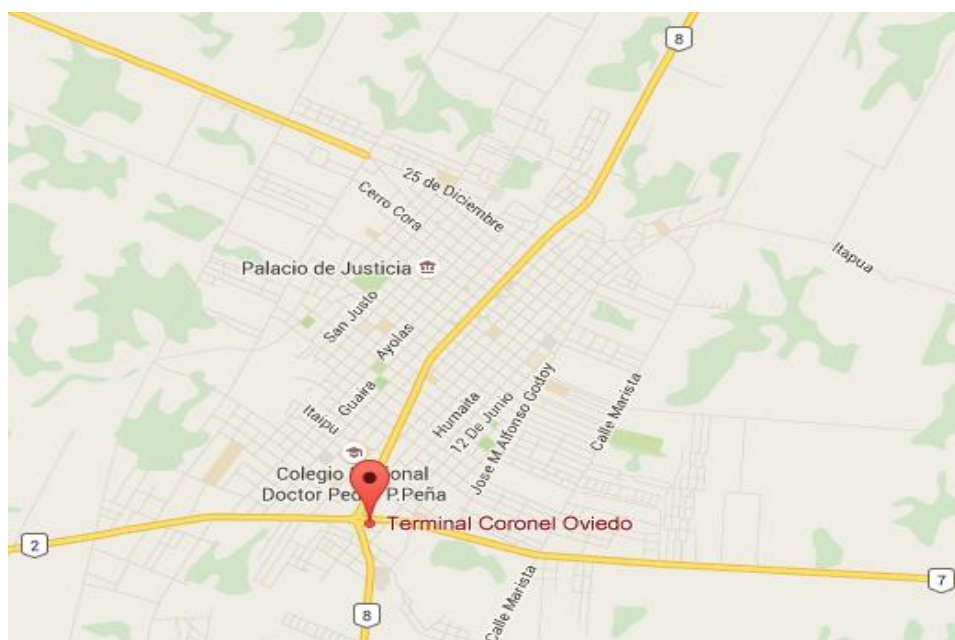


Figura 5.2: Ciudad de Coronel Oviedo-Departamento de Caaguazú

Los detalles de los dos alimentadores se expresan en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo, con la respectiva ubicación de todos los postes, los transformadores de distribución pertenecientes a la ANDE y a los usuarios (transformadores exclusivos), así como la ubicación de las protecciones y los elementos de maniobra de las líneas de distribución

(fusibles y seccionadores). También están indicadas las conexiones con otros alimentadores de distribución del sistema, puesto que los alimentadores de la ciudad Coronel Oviedo se encuentran en configuración de anillos o mallas.

5.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

Este proyecto de fin de grado dará inicio con un estudio y revisión bibliográfica acerca de las normas para la elaboración de un proyecto ejecutivo de cambio de sistema de distribución aérea de MT desnudos por un sistema de distribución aérea de MT protegida, la 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.

Durante el estudio de los materiales implementados en las líneas aéreas de distribución de MT, se resaltarán los materiales poliméricos utilizados en la cubierta de los conductores protegidos. A través de este estudio se espera lograr una adecuada descripción funcional de los términos técnicos a ser utilizados, se busca también obtener los conocimientos necesarios sobre la estructura a ser utilizadas en las líneas aéreas de distribución 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 los 2 alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo, de tal manera a poder realizar posteriormente el levantamiento de campo.

Con la finalidad de identificar y delimitar el aérea en estudio, se examina el plano obtenido del trayecto recorrido por los 2 alimentadores que abastecen la mayor parte de la ciudad, a saber, los alimentadores: COV3 y COV6, 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 las líneas, mediante la técnica poste a poste, que se realiza con el empleo de una cinta métrica y la ayuda de una segunda persona para poder ir realizando las mediciones, para que de esta manera se pueda ir anotando las distancias de los mismos, características técnicas en la red de MT: cantidad de PD, disposición del conductor, localización geográfica de las estructuras, se indicaran la numeración y los tipos de sostenes, detalles de punto de llegada y de salida de las líneas eléctricas, así como los obstáculos que puedan existir al paso de los alimentadores como todos los caminos, arroyos, tipos de vegetación que pueden existir bajo las líneas aéreas de distribución de MT, y los datos pertinentes para la realización del proyecto ejecutivo. Con todos los datos recabados se va realizando el plano correspondiente de los alimentadores aéreos de distribución de MT. Además se identifica la existencia de elementos de protección, maniobra, etc.

Una vez culminado el levantamiento respectivo y realizado el plano en el campo, se procede a digitalizarlo empleando como herramienta el programa AutoCAD 2016 ®.

Estos planos servirán de base para la elaboración y elección de las estructuras a ser utilizadas en cada tramo de las líneas aéreas de distribución de MT protegida, dependiendo de la localización que posean; si en ésta fase existiere alguna duda sobre la ubicación de algún elemento u otros, se visita nuevamente el punto de interés para asegurar que el plano que está siendo elaborado sea definitivamente un fiel reflejo de la realidad, con estos datos recabados también se realizarán los cálculos de los parámetros eléctricos de las correspondientes líneas de distribución aérea de MT compuesta de conductores desnudos y protegidos, comprobándolo con la utilización del programa CYMDIST.

Para la escala, el formato y la simbología correspondientes se tendrán en cuenta las especificaciones que la ANDE brinda para los proyectos ejecutivos de líneas de distribución aérea de MT, el cual se puede ver en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo.

Para la correspondiente lista de estructuras se tendrán en cuenta también las especificadas en los procedimientos para la elaboración de proyectos de líneas de distribución alimentadoras que provee la ANDE, se especificaran las nuevas líneas aéreas de distribución de MT protegidas a ser proyectadas y las que serán retiradas de las estructuras, la cantidad de conductores necesarios, como así también la cantidad de postes.

La fase posterior a la digitalización del plano será la de realizar el análisis y los ahorros obtenidos con las nuevas líneas de distribución aéreas de MT a ser proyectadas.

Teniendo los análisis del proyecto se inicia con la selección de las estructuras, tecnología de conductores a ser empleadas de acuerdo a los parámetros técnicos y económicos requeridos para el proyecto ejecutivo de cambio de líneas aéreas de distribución de MT desnuda por un sistema de distribución aérea de MT protegida, puesto que el objetivo principal sobre el cual se centra este proyecto de fin de grado es la de disminuir el índice DEP y FEP, a través de la sustitución del sistema de distribución.

Una vez culminado el proyecto en su aspecto técnico, el siguiente paso consiste en realizar el análisis económico, el cual es determinante en la realización del mismo, ya que permitirá resumir de una manera anticipada el resultado global del proyecto desde el punto de vista económico. Hay varios modelos utilizados comúnmente por la ingeniería económica para determinar la rentabilidad de los proyectos. En el presente proyecto se empleara el método del VPN, el Flujo de Caja Proyectada, TIR y el PRI como modelo para realizar el análisis económico.

Culminada las tareas anteriormente mencionadas se realizara la presentación del informe final en el formato establecido.

5.10. Métodos y técnicas utilizadas

Son las distintas formas o maneras que fueron empleadas para obtener información para el desarrollo del proyecto de fin de grado y las técnicas de recolección que fueron aplicadas en este estudio, que se describen a continuación:

- Recopilación documental: esta técnica permitió la recolección de informaciones bibliográficas, en el presente estudio se efectúa mediante la revisión de textos, trabajos de investigación, revistas, páginas web, normas y reglamentos relacionados al tema de investigación.
- La entrevista no estructurada: donde es un acto de comunicación no planeado con el cual se obtiene información clara, real y objetiva del tema en estudio [31]. Que se aplicó y se seguirá aplicando al personal técnico e ingenieros relacionados al área de estudio y a través del cual permitirá ampliar la información sobre las líneas aéreas de distribución de MT protegida y sus elementos, junto a las condiciones operativas del mismo.
- La observación: mediante esta técnica se obtuvo y se obtendrá informaciones mediante visualizaciones directas de las redes de distribución aéreas de MT de conductores desnudos.

La norma que se considera para el desarrollo del proyecto de fin de grado será la NTC [32], la cual tiene por objeto establecer los criterios básicos para preparación de proyectos de líneas y redes de distribución de las tensiones trifásicas, básicamente compuesto por tres conductores cubiertos XLPE para garantizar unas buenas condiciones técnicas y económicas

de las instalaciones eléctricas. Las especificaciones técnicas para la elaboración del proyecto ejecutivo de cambio de conductores de líneas aéreas de distribuciones de MT por un sistema aéreo de distribución de MT protegido serán consideradas las proveídos por la ANDE, así como las estructuras a ser utilizadas. También se tendrá en cuenta el reglamento de MT de la ANDE.

Para la digitalización de los planos y las redes de distribución se realizarán con el programa AutoCAD 2016 ® por ser un programa de fácil manejo y estar orientado a la producción de planos ya que cuenta con recursos tradicionales del grafismo en el dibujo.

5.11. Recursos necesarios

5.11.1. Recursos humanos

El trabajo final de grado será realizado por una alumna con grado académico culminado de la carrera de Ingeniería en Electricidad con la colaboración de una segunda persona que servirá de ayudante para poder llevar a cabo el levantamiento de campo. También se ha contado con la ayuda del tutor, responsable del proyecto final de grado, profesores de la carrera y funcionarios de la ANDE.

5.11.2. Recursos materiales

- Computadora con conexión a internet.
- Impresora.
- Cinta métrica de 50 metros.
- Útiles de oficina.
- Cámara fotográfica.

- Entre otros recursos, se encuentran la utilización del programa AutoCAD 2016 ® y CYMDIST.

5.12. Factibilidad técnica

- Se mejora la calidad y confiabilidad del sistema de distribución de media tensión, con la reducción del DEP y FEP de los 2 alimentadores.
- Se reduce los fuera de servicio ocasionados en su mayoría por el contacto de rama de árboles con los alimentadores de distribución de energía eléctrica.
- Se disminuyen el volumen y frecuencia de poda de árboles, ubicados bajo las líneas contribuyendo a la par con la reducción del impacto ambiental ocasionado por las podas predatorias.
- Se disminuyeron las perdidas eléctricas en los 2 alimentadores.

5.13. Factibilidad económica

5.13.1. Beneficios

5.13.1.1.Reducción de los índices de calidad

Los 2 alimentadores que abastecen la mayor parte de la ciudad de Coronel Oviedo poseen un bajo índice de calidad, ya que son mayores en comparación con un sistema de 9 alimentadores que posee una distribución aérea de MT protegida como es el caso de la ES-BPA. Cabe mencionar, que ambas SE's atienden cargas y lugares de características similares.

Por lo tanto, con el proyecto ejecutivo de sustitución del sistema de distribución aérea de MT por un sistema de distribución aérea protegida se espera que ambos índices de calidad se reduzcan como los de la ES-BPA. A continuación se resumen en la tabla 5.1 los valores de ambos indicadores en situaciones actuales

de las líneas de distribución y en las esperadas con el cambio del sistema de distribución aérea.

Indices de calidad. Año 2012			
	Conductor desnudo	Conductor protegido	Diferencia
DEP	8.21	0.31	7.90
FEP	18.52	0.72	17.80

Tabla 5.1: Índices de calidad

5.13.1.2.Reducción de poda de arboles

Con la implementación del sistema de distribución aérea de media tensión compuesta de conductores protegidos se logra una reducción de 79,5% en el volumen y en la frecuencia de poda de árboles [33], lo cual conlleva a una reducción en el costo destinado para dicho efecto. El cual queda demostrado en la siguiente tabla.

Poda de árboles COV3 y COV6			
Año	Sistema de Conductor desnudo	Sistema de Conductor protegido	Ahorrado (Gs)
2012	7,680,582	1,574,519	6,106,063

Tabla 5.2: Reducción de poda de arboles

Donde los cálculos de la inversión y el ahorro se expresan en el Apéndice A.1 – Reducción de poda de árboles.

5.13.1.3.Reducción de mantenimiento

Con el sistema de distribución aérea de media tensión de conductores protegidos también se obtiene una reducción de 60,70% [33] en el mantenimiento. Los

detalles de los cálculos del mantenimiento preventivo y correctivo se desglosan en el Apéndice A.2 – Reducción de mantenimiento

5.13.1.4.Reducción de fuera de servicio

Uno de los beneficios más importantes conseguidos con la implementación del sistema de distribución aérea con espaciadores es la reducción de los fuera de servicio en un 93,50% [33], con lo cual se obtiene un aumento en la calidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica brindada a los usuarios por la ANDE, que obtiene una reducción en pérdidas de energía no facturada.

Por lo tanto, con el cambio del sistema de distribución la ANDE registra un ahorro en las inversiones destinadas, tanto a poda de árboles, mantenimiento y perdida por energía no facturada.

Donde los cálculos de la inversión y el ahorro se expresan en el Apéndice A.3 – Reducción de PENF

5.13.2. Costos

5.13.2.1.Costos de la implementación de las líneas aéreas de distribución protegida y el retiro de las líneas de conductores desnudos

En la elaboración del proyecto de sustitución de conductores desnudos a un sistema con espaciadores o separadores basados en 2 alimentadores de la ANDE, COV3 y el COV6, los cuales son alimentadores trifásicos urbanos de aluminio con poca confiabilidad y calidad en el suministro de energía eléctrica. Para el cambio de un sistema de distribución aérea a otra se tuvo que analizar varios factores para 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.

Total materiales (Gs.)	1,931,733,274
------------------------	----------------------

Tabla 5.3: 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	1,931,733,274
Total mano de obra	1,790,585,280
SUB TOTAL (Gs)	3,722,318,554
Gastos administrativos 15%	558,347,783
Imprevistos 5%	186,115,928
TOTAL (Gs)	4,466,782,265

Tabla 5.4: Costo total del proyecto de sustitución de línea de distribución aérea convencional a un sistema con conductores protegidos en MT

5.13.3. Evaluación económica

5.13.3.1. Determinación del flujo de caja proyectada

Teniendo los datos de los costos de materiales, equipos y mano de obra, así como también los gastos administrativos y lo destinado a imprevistos, los cuales servirán de base para la elaboración del flujo de caja proyectada de las inversiones y ahorros previstos mediante el cambio del sistema de distribución, utilizando un horizonte de tiempo de 15 años, siendo el mismo la duración de vida útil de los sistemas de distribución, cuyos cálculos están detallados en Apéndice C.1 - Determinación del TIR, VPN y PRI, de lo cual se obtuvo el resultado de la siguiente figura.

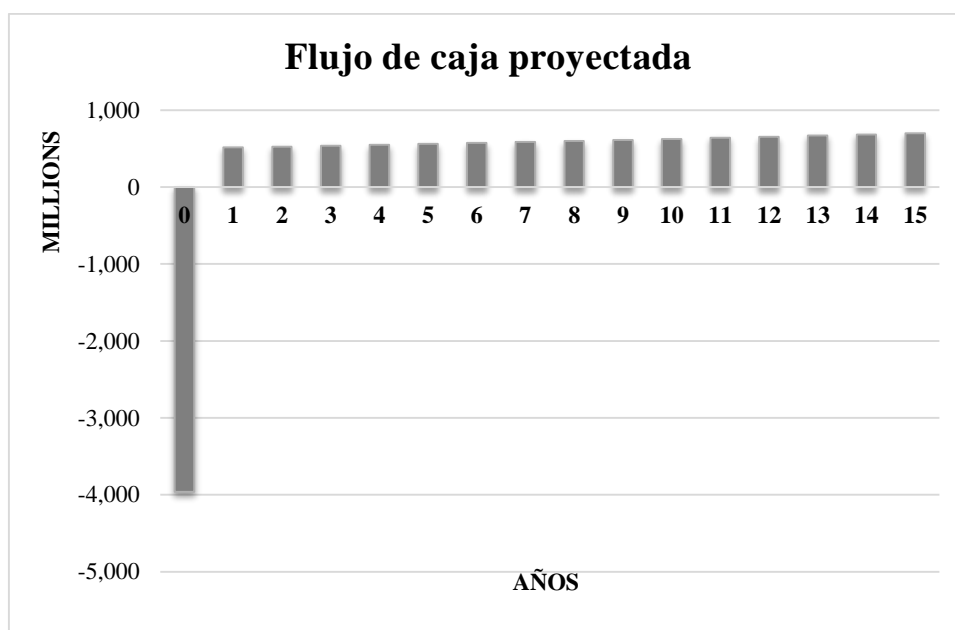


Figura 5.3: Flujo de caja proyectada del proyecto

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

En base a lo obtenido en el flujo de caja proyectada se calcula la tasa interna de rendimiento, el cual se encuentra detallado en el Apéndice C.1 - Determinación del TIR, VPN y PRI, se obtuvo una TIR de 12%.

5.13.3.3. Determinación del valor presente neto (VPN)

Teniendo en cuenta también los valores del flujo de caja proyectada se calcula el valor presente neto, el cual representa todos los gastos y ahorros que se transforman en dinero equivalente en el presente, con una tasa de inflación del 10% para un periodo de 15 años se obtuvo el resultado de la siguiente figura.

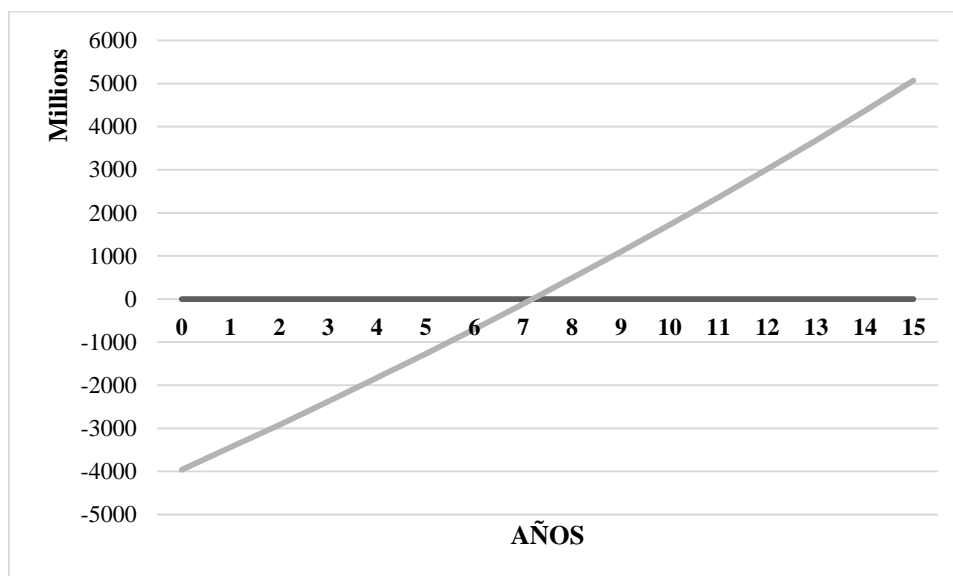


Figura 5.4: Método del VPN con tasa de descuento del 10%

La figura anterior muestra que la inversión será recuperada aproximadamente a los 7 años con un VPN de: Gs. 4.409.573.048

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

Una vez contado con estos valores se calcula el periodo de recuperación de lo invertido, el cual representa el tiempo en el que se recuperara la inversión realizada inicialmente, el cual es necesario para que el flujo de caja acumulado del proyecto cubra el monto total de la inversión realizada, representando el periodo a partir del cual se empieza a ganar dinero. El Payback se produce cuando el flujo de caja es igual a cero. $\text{Payback} = \text{Periodo en el cual se logra VAN} = 0$.

Obteniéndose un PRI = 7 años 2 meses 8 días. Detallándose los cálculos en el Apéndice C.1 - Determinación del TIR, VPN y PRI.

IV. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 6

6.1. Sistema de distribución aérea de MT actual de la ciudad de Coronel Oviedo

En los capítulos anteriores se ha expresado que en la ciudad de Coronel Oviedo el sistema de distribución en MT existente está compuesto por líneas aéreas de conductores desnudos, incluyendo a los alimentadores bajo estudio, a saber COV3 y COV6. Este esquema de distribución aérea desnuda provoca inconvenientes tales como el impacto ambiental provocado por la frecuente necesidad de podas de árboles, puesto que las líneas de distribución a lo largo de su trayecto pasa por diversos lugares de los cuales en su mayoría se puede observar la presencia de una cantidad considerable de árboles, siendo ello una de las causas de fuera de servicio o pestañeos en el suministro de energía eléctrica ante fenómenos climatológicos que producen contacto de ramas de árboles por las mencionadas líneas de distribución de MT; todo esto conduce a una baja confiabilidad del sistema de distribución que afecta tanto a la empresa encargada de la distribución de la energía y a los usuarios finales.

Para la comprobación de los parámetros eléctricos de las correspondientes líneas de distribución aérea de MT de conductores desnudos y con el nuevo sistema protegido, se utilizara el programa CYMDIST. De las funciones ofrecidas por dicho programa, las utilizadas

para el proyecto final de grado serán los reportes gráficos para indicar condiciones de sobretensión o de subtensión y el cuadro del flujo de carga, tanto para los 2 alimentadores en su situación actual y con el nuevo sistema de distribución protegida en MT.

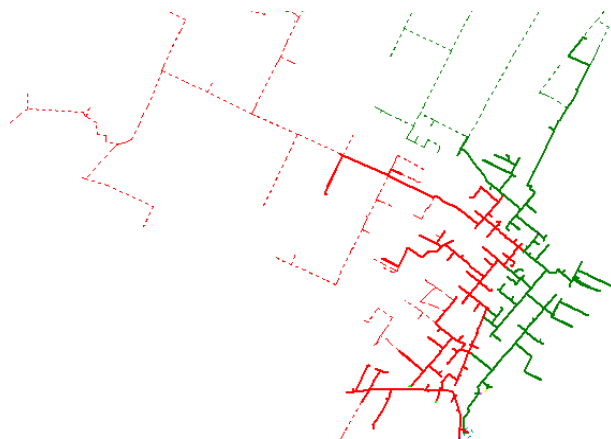


Figura 6.1: Representación de los alimentadores COV3 y COV6

En la figura 6.1 se tiene una representación esquemática de los 2 alimentadores, COV3 (verde) y COV6 (rojo), bajo estudio, obtenido del programa CYMDIST.

6.2.Verificación preliminar

Una evaluación preliminar del DEP y FEP del sistema de distribución en MT del año 2012 que aparecen en las tablas 6.1 y 6.2 indica que los 2 alimentadores que abastecen actualmente la ciudad de Coronel Oviedo poseen un alto índice en los 2 indicadores mencionados con anterioridad.

COV3	COV6	Total/Año 2012
3,28	4,93	8,21

Tabla 6.1: DEP de los alimentadores COV3 y COV6, año 2012 [34]

En el cuadro anterior se puede observar que los 2 alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo alcanzan un valor de 8,21 en lo que refiere al DEP, mientras que en el FEP ambos alimentadores poseen un valor de 18,52, como puede ser observado en la siguiente tabla.

COV3	COV6	Total/Año 2012
7,05	11,47	18,52

Tabla 6.2: FEP de los alimentadores COV3 y COV6, año 2012 [34]

Decimos que los alimentadores que abastecen la mayor parte de la ciudad de Coronel Oviedo tiene una baja confiabilidad en su sistema de distribución de MT porque sus índices de DEP y FEP son mayores en comparación con un sistema que posee una distribución aérea de MT protegida como es el caso de la ES-BPA, que actualmente cuenta con 9 alimentadores con sistema de distribución de energía eléctrica de MT protegida, como se puede ver en la siguiente tabla [35].

Sistema de Conductor protegido	Total/Año 2012 (9alimentadores)
DEP	0.31
FEP	0.72

Tabla 6.3: DEP y FEP de los 9 alimentadores, ES-BPA, año 2012

De esta forma, podemos afirmar que los 2 alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo que alimentan la mayor parte del mercado eléctrico de la ciudad tienen una baja confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

Cabe mencionar, que ambas SE's atienden cargas de características similares.

Por lo tanto, en este proyecto de fin de grado se elabora el proyecto ejecutivo para la sustitución del sistema de distribución aérea de MT de la ciudad de Coronel Oviedo por un sistema de distribución aérea protegida puesto que con esto se mejorará el sistema de distribución de la ciudad, beneficiando a los usuarios finales y a la ANDE.

Adicionalmente se evaluaron las incidencias que tiene el sistema de distribución aéreo protegido en el ambiente, dado que los conductores están cubiertos con una capa de polietileno reticulado de alta densidad, permite montarlos más próximos a las ramas de los árboles, sin el riesgo de provocar cortocircuitos en caso de contacto con las ramas o entre los conductores, donde dicho contacto no puede ser mantenido por tiempos prolongados, debido a las descargas superficiales generadas por el campo eléctrico no confinado en el aislante del cable protegido. Este contacto prolongado puede producir la degradación del aislante con la consecuente falla del cable, por lo cual, en las líneas de distribución aérea protegida no se elimina la necesidad de efectuar mantenimiento y podas de árboles, pero éstos se ven reducidas en gran medida. Esto ocurre debido a que ocupan menos espacio, por lo tanto las podas se deberán efectuar a razón del 30% [33] en comparación con las podas realizadas en las redes compuesta de conductores desnudos. A continuación y a modo de esquematización, se presenta un gráfico, en el cual se puede observar la poda necesaria para cada sistema y la reducción que se genera con el cambio de un sistema de conductores desnudos a uno de sistema protegido.

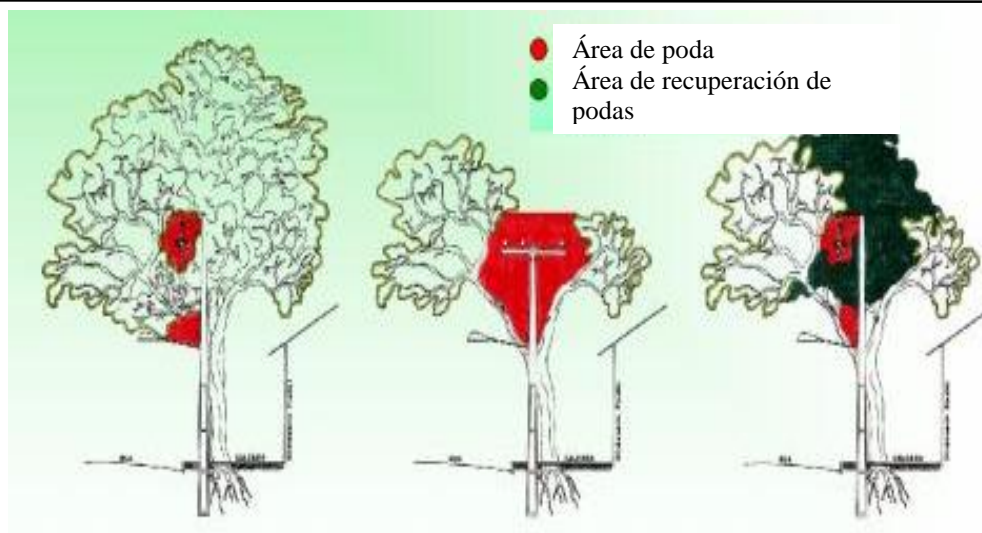


Figura 6.2: Zona de poda de árboles y la zona de reducción. [8]

En la figura 6.2 se puede observar que mediante la implementación de las líneas de distribución aérea de conductores protegidos reducen drásticamente los inconvenientes generados al medio ambiente, demostrando la conveniencia de este sistema ante el utilizado en la actualidad.

6.3. Desempeño de las tensiones y pérdidas en KW con el sistema de distribución aérea de MT convencional en COV3 y COV6

Se evaluaron los reportes gráficos de las tensiones de los alimentadores COV3 y COV6, donde un sistema de distribución aérea de MT tiene que operar en un rango especificado manteniendo los niveles de tensión, aproximadamente entre 21,9KV y 24,1KV. Como así también se analizaron los cuadros del flujo de carga, los cuales pueden ser observados en las siguientes figuras respectivamente.

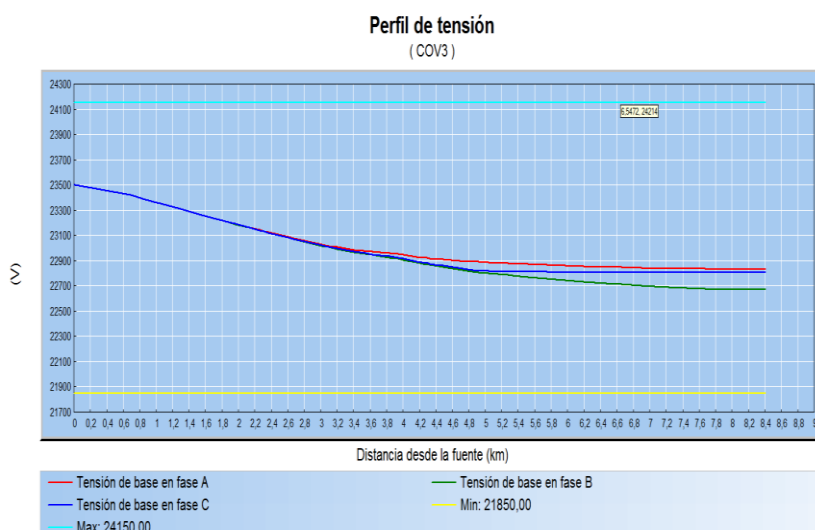


Figura 6.3: Perfil de tensión COV3 [36]

Subestación - COV-S3

	V base	kVLL	kVLN	i [A]	kVA	kW	kVAR	Distancia	perdidas
A	23500,0	23,5	13,6	279,5	3792,4	3412,0	1655,5	0,0	192,00
B	23500,0	23,5	13,6	279,6	3792,9	3412,5	1655,6		
C	23500,0	23,5	13,6	279,6	3793,2	3412,6	1656,0		
Total:				11379	10237	4967			

Figura 6.4: Cuadro de flujo de carga COV3 [36]

En base a las figuras anteriores se puede observar que en el alimentador COV3 de conductores desnudos el perfil de tensión no está muy lejos de los 23KV y que poseen un valor de pérdida de potencia activa de 192KW.

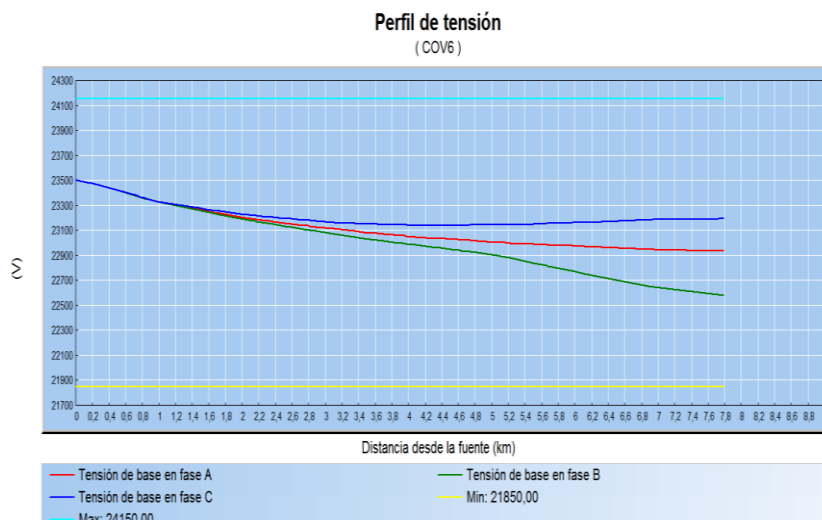


Figura 6.5: Perfil de tensión COV6 [36]

Subestación - COV-S6

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	Distancia	perdidas
A	23500,0	23,5	13,6	279,4	3790,5	3410,9	1653,5	0,0	134,24
B	23500,0	23,5	13,6	279,5	3792,1	3411,9	1654,9		
C	23500,0	23,5	13,6	279,4	3790,2	3410,5	1653,6		
Total:					11373	10233	4962		

Figura 6.6: Cuadro de flujo de carga COV6 [36]

Con las figuras 6.5 y 6.6 se observa casi la misma condición en el perfil de tensión que el alimentador COV3 de conductor desnudo, mientras que la línea COV6 posee una pérdida en su potencia activa de 132,24KW.

6.4. Cálculo de impedancias de los conductores desnudos y protegidos

Los detalles de los cálculos de las impedancias de los conductores tanto desnudos como el de protegidos se encuentran en el Apéndice B.1 – Cálculo de impedancia de los conductores desnudos y protegidos. En base a los resultados obtenidos en dichos cálculos se puede observar la reducción de la impedancia expuesta en la siguiente tabla tomando una temperatura en régimen permanente de 75°C, tanto del conductor desnudo y la del conductor

protegido, comparándolos en la impedancia correspondiente a cada uno por Km de línea. La distancia típica entre conductores de fase del sistema de distribución aéreo protegido para 23KV es de aproximadamente 0,2921m.

Sección del Conductor	Conductor para línea convencional		Conductor para línea con espaciadores		Reducción de la impedancia. Expresada en Z%
	Resistencia (Ω /Km)	Reactancia (Ω /Km)	Resistencia (Ω /Km)	Reactancia (Ω /Km)	
35mm ²	0,9992	0,3964	—	—	45,39%
70mm ²	—	—	0,5207	0,2707	
150mm ²	0,2371	0,3584	—	—	25,81%
185mm ²	—	—	0,2063	0,2431	

Tabla 6.4: Reducción de la impedancia

Como se puede observar en la tabla anterior las líneas de distribución aéreas protegidas poseen una menor impedancia que las líneas con conductores desnudos, por lo tanto la misma presenta una menor caída de tensión, mejorando de ésta manera la calidad del servicio de energía eléctrica brindada a los usuarios.

6.5. Desempeño de las tensiones y perdidas en KW con la implementación del sistema de distribución protegida en COV3 y COV6

Como se menciona en párrafos anteriores el presente trabajo se basará en el proyecto de sustitución de los 2 alimentadores que abastecen a la ciudad de Coronel Oviedo, los cuales en la actualidad se encuentran entregando energía eléctrica a los usuarios finales con un sistema basado en conductores desnudos, donde los mismos están sometidos a varias desventajas que afectan a su operación, a un sistema de distribución aérea en MT compuesta con conductores protegidos, con lo cual se tiene unas condiciones esperadas en su funcionamiento expuestas en las siguientes figuras. En las cuales se pueden observar que con

el cambio del sistema de distribución se mejorara los niveles de tensión y se reducirán las pérdidas de potencia activa en ambos alimentadores.

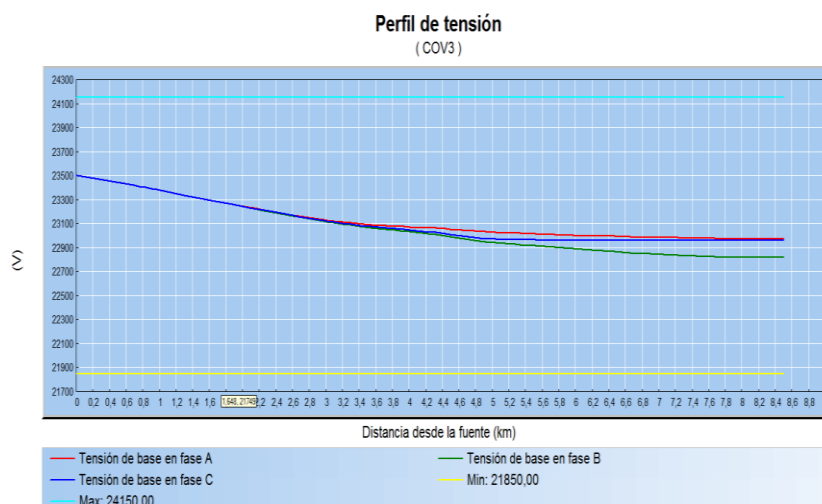


Figura 6.7: Perfil de tensión COV3 [36]

Subestación - COV-S3

	V base	kVLL	kVLN	i(A)	kVA	kW	kVAR	Distancia	perdidas
A	23500,0	23,5	13,6	278,3	3775,3	3400,7	1639,4	0,0	156,44
B	23500,0	23,5	13,6	278,3	3775,4	3400,9	1639,3		
C	23500,0	23,5	13,6	278,2	3774,6	3400,0	1639,3		
Total:					11325	10202	4918		

Figura 6.8: Cuadro de flujo de carga COV3 [36]

En las figuras 6.7 y 6.8 se puede observar que en el alimentador COV3 con el sistema protegido el perfil de tensión se mejora, al igual que la pérdida de potencia activa que se reduce un total de 35,56KW.

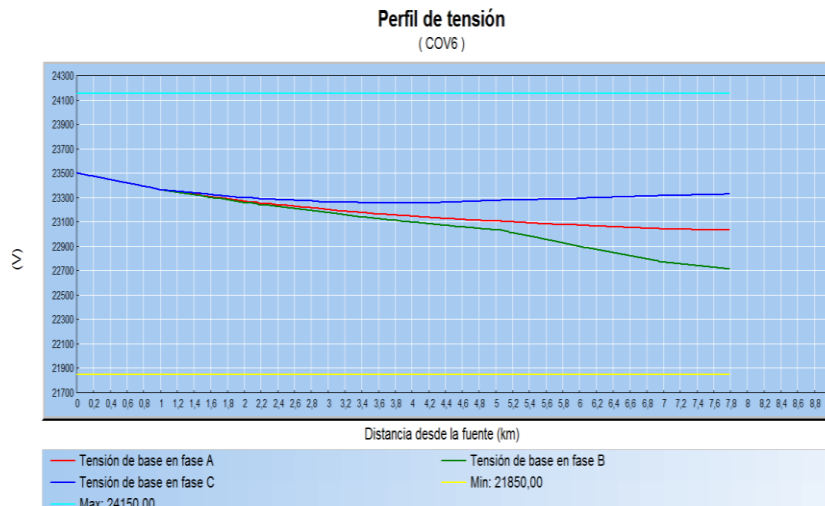


Figura 6.9: Perfil de tensión COV6 [36]

Subestación - COV-S6

	V base	kVLL	kVLN	i (A)	kVA	kW	kVAR	Distancia	perdidas
A	23500,0	23,5	13,6	278,7	3780,7	3404,4	1644,2	0,0	110,33
B	23500,0	23,5	13,6	278,5	3779,2	3402,7	1644,4		
C	23500,0	23,5	13,6	278,5	3778,7	3402,3	1644,0		
Total:					11339	10209	4933		

Figura 6.10: Cuadro de flujo de carga COV6 [36]

Mientras que en el alimentador COV6, como se observa en las figuras 6.9 y 6.10 el perfil de tensión también se mejora, como la pérdida de potencia activa en el alimentador que se reduce un total de 23,91KW.

Con las situaciones expuestas con anterioridad se ve reflejado que la solución para el sistema de distribución aérea de conductores desnudos es el cambio del mismo a un sistema protegido para el mejoramiento de los niveles de tensión y la reducción de la pérdida de potencia activa en ambos alimentadores bajo estudio de la ciudad de Coronel Oviedo.

6.6. Proyecto de sustitución del sistema de distribución aéreo de conductores

desnudos a un sistema de distribución de conductores protegidos en media tensión

El proyecto final de grado se basa en la sustitución de los 2 alimentadores aéreos de distribución de la ciudad de Coronel Oviedo de conductores desnudos a un sistema con espaciadores en MT, para el logro de dichos objetivos planteados se deberán de llevar a cabo varios pasos, dando inicio con la digitalización de COV3 y COV6.

6.6.1. Digitalización de las líneas aéreas de distribución con conductores desnudos en MT

6.6.1.1. Verificación del recorrido de COV3 y COV6 y su posterior validación

Según el plano del trayecto de los dos alimentadores obtenidos del departamento de distribución centro Coronel Oviedo comparado con lo observado y levantado en el campo no hay grandes variaciones, solamente se encontraron en la actualidad algunos cambios en los postes, nuevos puestos de transformación y nuevos ramales.

Los alimentadores COV3 y COV6 tienen una salida subterránea de la Estación Transformadora COV con conductores de 240 mm², desde su salida al sistema de distribución aéreo ambos alimentadores fueron recorridos un total de 18.263 metros, donde el COV3 fue recorrido un total de 12.572 metros, mientras que el COV6 5.691 metros; de los cuales para el proyecto de sustitución de ambos alimentadores a un sistema protegido se realizó sobre un total de 10.552 metros, abarcando la zona de mayor importancia, ya que en éste recorrido los 2 alimentadores entregan energía

eléctrica al Hospital Regional de Coronel Oviedo, al Mercado Municipal N° 1, entre otros.

6.6.1.2. Levantamiento de la red de MT y puntos de transformación

La red de MT de los 2 alimentadores sobre los cuales se proyectó el cambio del sistema de distribución presentan una topología del tipo radial, capacidad total instalada de aproximadamente 41.100 KVA [34], donde la troncal de ambos alimentadores posee una sección de 150mm², mientras que en los ramales la sección es de 35mm². Están compuestos en la zona bajo estudio por 36 puntos de transformación, postes de H°A° de 12/200, 12/300, 12/800 kgf y los postes de acero, tal como puede ser observado en la siguiente tabla.

Tipo de postes	Cantidad
12/200 kgf	19
12/300 kgf	153
12/800 kgf	13
Acero	113

Tabla 6.5: Cantidad de postes en COV3 y COV6

La ubicación de los puntos de transformación y postes mostrados en el cuadro anterior se especifica en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo.

6.6.1.3. Levantamiento de acometidas

La parte mayoritaria y de más importancia de la ciudad de Coronel Oviedo se encuentra alimentada por los 2 alimentadores sobre los cuales está proyectada el cambio del sistema de distribución, en los cuales durante el levantamiento de campo se pudo constatar un total de 26 acometidas en MT.

6.6.1.4. Diagnóstico del sistema de distribución aéreo de conductores

desnudos

Los 2 alimentadores de MT en su trayecto presentan en promedio vanos de 45 metros y en su mayoría postes de 12/300 kgf, siendo los vanos y los postes los adecuados para las líneas de distribución aéreas de conductores desnudos, pero al proyectarse líneas aéreas de distribución de conductores protegidos en algunos trayectos los vanos sobrepasan las exigencias previstas en las especificaciones técnicas de la ANDE, donde para el trazado de la línea los vanos pueden ser de hasta 40 metros en las troncales a excepción de casos especiales donde este valor puede variar. La misma situación se presenta en los postes existentes, puesto que según especificaciones técnicas en los vanos con deflexiones de 90° se debe contar con columnas de 12/800 kgf o acero y en la actualidad los postes esquineros de ambos alimentadores no presentan tal situación, por lo cual deberán ser sustituidos por el requerido para un sistema protegido, ampliando esta sustitución a los postes de 12/200 kgf presentes actualmente en la red de media tensión.

Tipo de conductor	Ángulo			
	0° a 5°	6° a 29°	30° a 59°	60° a 90°
*Desnudo 150 mm ²	12/300 kgf.	12/300 kgf.	12/500 kgf.	12/800 kgf.
Protegido	12/300 kgf.	12/500 kgf.	12/800 kgf.	12/800 kgf.

*Para conductores de 70 mm² en alineación los postes serán de 12/200 kgf.

Tabla 6.6: Postaciones de acuerdo al ángulo

6.6.1.5. Digitalización de las redes

Con la información recopilada en las redes de MT con los respectivos puntos de transformación, vanos, tipos de estructuras y las acometidas existentes, se procede a elaborar el plano de los 2 alimentadores con sistema de distribución de conductores

desnudos sobre el plano de urbanismo elaborado previamente; de esta manera queda digitalizado el plano de ambos alimentadores, COV3 y COV6, el cual puede ser observado en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo; para la culminación de esta etapa se tuvo que recurrir en varias ocasiones para verificar el recorrido de los alimentadores o para comprobar el tipo de estructura existente en el lugar, ya que posteriormente el plano desarrollado es el que servirá de base para la elaboración del proyecto de sustitución del sistema de distribución aéreo de conductores desnudos a un sistema protegido.

6.6.2. Croquis orientativo

Con todo lo recabado en el campo y en las revisiones bibliográficas sobre los procedimientos para la elaboración de proyectos de líneas de distribución aérea, se procede a elaborar el plano del sistema de distribución aérea protegida de los alimentadores COV3 y COV6 con los nuevos valores de vanos, las nuevas estructuras y los correspondientes conductores protegidos a ser implementados, proyectado sobre el plano de ambos alimentadores en el sistema de conductores desnudos, el cual fue elaborado previamente; dicho plano puede ser observado en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo.

6.6.3. Características y sección del conductor

El conductor a ser empleado en el proyecto de sustitución del sistema de distribución aéreo de conductores desnudos a un sistema protegido, 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.

6.6.3.1. Condiciones de utilización

○ Características ambientales

Altitud: menor a 1000 msnm.

Clima: tropical

Temperatura ambiente: 0 °c a 40 °c

Temperatura media diaria: 30 °c

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 °C.

Temperatura de Sobrecarga de Emergencia: 100 °C

Temperatura de Cortocircuito (5 seg.): 200 °C.

Sección Nominal: 70 – 185 mm².

Intensidad Admisible en Régimen

Permanente. (Mínima)

70 mm ²	185 mm ²
240 A	400 A

Del conductor:

Resistencia eléctrica CC del conductor a

20 °C (Máx) Ω/km. (Máxima)

70 mm ²	185 mm ²
0,43	0,164

Bloqueo antihumedad: Conductor bloqueado

Del aislamiento:

Resistencia Mínima del aislamiento a 20 °C: 2.500 MΩ.km.

○ **Características constructivas generales**

Conductor: el conductor unipolar del cable protegido de media tensión es de aluminio de 70 y 185 mm², están conformados 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 semiconductor 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.4 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, cuyas características básicas están descritas en la tabla B.3 del Apéndice B.3 - Características y sección del conductor. En este caso, el material de la capa externa deberá también satisfacer las características físicas indicadas en la tabla B.4 del Apéndice B.3 - 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.

Fabricación: las 3 capas constituidas (semiconductor y dos capas para la cobertura externa, según alternativa propuesta), son fabricadas con la tecnología de la triple extrusión simultánea. El diámetro total cuenta con una tolerancia de + 0,51 mm. / - 0,254 mm en relación al diámetro nominal señalado en la tabla más abajo. A fin de mejorar la capacidad de resistencia al intemperismo (rayos ultravioletas), se adiciona al compuesto utilizado para la capa externa, un porcentaje de negro de humo (carbono), según límite indicado en la tabla B.4 del Apéndice B.3 – Características y sección del conductor.

Sección del conductor mm ²	Tipo de conductor	Hebras N°	Diámetro del conductor (mm)	Espesor del blindaje nominal	Espesor medio de la aislación (Mínimo) (mm)				Diámetro 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
185	Compacto	19	15,32	0,4	3,2	3,2	3,9	2,6	28,8

Tabla 6.7: Dimensiones aproximadas del cable [37]

6.6.4. Consideración del proyecto ejecutivo

El proyecto ejecutivo del sistema de distribución aéreo de conductores protegidos en media tensión está elaborado en una escala de 1:50 en el programa AutoCAD 2016®, donde los detalles del diseño planimétrico y trazado de la línea con las simbologías correspondientes, basado en los alimentadores COV3 y COV6 de la ciudad de Coronel Oviedo puede ser observada en el Apéndice B.2 – Proyecto ejecutivo.

6.6.5. 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 de los 2 alimentadores 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	Cant.
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°1	N°	111
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°2	N°	8
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°3	N°	3
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°4	N°	7
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°5	N°	7
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°6	N°	6
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°7	N°	7
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°11	N°	12
Montaje de Estructura MT tipo EPMTED	N°	867
Montaje de Estructura MT tipo PDEXIST	N°	39
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDH°5	N°	9
Montaje de Estructura MT tipo EPSLT 1-6	N°	18
Estructuras de Acero		
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA1	N°	65
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA1-A	N°	21
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA2	N°	2
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA3	N°	3
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA6	N°	9
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA7	N°	11
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDA°5	N°	10

Tabla 6.8: Lista de estructuras a ser colocadas en los alimentadores COV3 y COV6

Descripción	Unidad	Cant.
Retiro de estructura MT tipo MTDH 1	N°	136
Retiro de estructura MT tipo MTDH 2	N°	7
Retiro de estructura MT tipo MTDH 3	N°	3
Retiro de estructura MT tipo MTDH 4	N°	7
Retiro de estructura MT tipo MTDH 5	N°	7
Retiro de estructura MT tipo MTDH 6	N°	6
Retiro de estructura MT tipo MTDH 7	N°	8
Retiro de estructura MT tipo MTDA 1	N°	87
Retiro de estructura MT tipo MTDA 2	N°	2
Retiro de estructura MT tipo MTDA 3	N°	3
Retiro de estructura MT tipo MTDA 6	N°	9
Retiro de estructura MT tipo MTDA 7	N°	11
Retiro de estructura MT tipo SLT1	N°	18
Retiro de estructura MT tipo SFT1	N°	1

Tabla 6.9: Lista de estructuras a ser retiradas de los alimentadores COV3 y COV6

En el Apéndice B.4 - Lista de estructuras a ser montadas, se presenta una lista de las líneas de distribución aérea de media tensión de la ciudad de Coronel Oviedo con sus respectivos precios unitarios y sus totales a ser implementadas : de las estructuras, la cantidad de conductores necesarios y cantidad de postes.

6.6.6. Consideraciones especiales

6.6.6.1. Postaciones

Las postaciones que fueron proyectadas para su erección en el proyecto de sustitución del sistema de distribución de conductores desnudos a un sistema de distribución protegido son las de hormigón armado de 12 metros, 300 y 800 Kgf. En las deflexiones de 90° en el sistema de distribución aéreo de conductores desnudos existen los postes de acero y los de hormigón armado de 12 metros con 300 Kgf, en el caso del primero no necesitan ser reemplazados como el segundo, puesto que el mismo no está preparado para soportar el tendido y funcionamiento de los conductores protegidos, para lo cual se proyecta su sustitución por los postes de hormigón armado de 12 metros con 800Kgf. Donde la cantidad de postes utilizados en el mencionado proyecto puede ser observada en la siguiente tabla.

Descripción	Unidad	Cant.
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/800Kg	N°	39
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/500Kg	N°	2
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/300Kg	N°	73

Tabla 6.10: Postaciones en COV3 y COV6

Las separaciones entre postes, teniendo en cuenta lo enunciado en las especificaciones técnicas, se fija un vano promedio de 40 metros para los conductores protegidos de 185 mm² y de 40 a 50 metros para los conductores de

70mm², debido al mayor peso del sistema basado en los conductores protegidos en relación a los conductores desnudos. Siendo los conductores protegidos de doble capa de 185mm² los instalados en la troncal del sistema, mientras que en las derivaciones o ramales se retiraran los conductores existentes y se instalaran los de 70mm².

6.6.6.2. Descargador de tensión y puesta a tierra

Los descargados de óxido de zinc son instalados de acuerdo a las especificaciones técnicas cada 2.000 metros [38], 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 [39]. Donde la conexión de los conductores de tierra a las jabalinas correspondientes es del tipo exotérmico.

6.6.6.3. Seccionadores

Los seccionadores de línea y los seccionadores fusibles que actualmente 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.

6.6.6.4. Espaciadores

Para el presente proyecto de sustitución a un sistema de distribución de conductores protegidos o sistema con espaciadores como también se lo conoce, donde la distancia entre los mismos según especificaciones técnicas puede oscilar entre 7 a

10 metros, obteniéndose en el proyecto un total de 867 separadores para ser instalados en el nuevo sistema. Por lo cual, la relación entre la cantidad de espaciadores y vanos para cada tipo de estructura implementada en el proyecto se expresan en las tablas del Apéndice B.5 - Cantidad de espaciadores y vanos para cada tipo de estructura.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla V.I, se verifican las condiciones esperadas en los índices de calidad según la comparación con el sistema de distribución aérea de MT de conductores protegidos de la ES-BPA, que se obtendrán con la implementación del sistema de distribución aéreo de MT de conductores protegidos en la ciudad de Coronel Oviedo.

Índices de calidad			
	Conductor desnudo	Conductor protegido	Reducción
DEP (horas)	8.21	0.31	7.90
FEP (veces)	18.52	0.72	17.80

Tabla V:1: Reducción de los índices de calidad [35]

Con esto, se logrará contribuir en el mejoramiento de la calidad y confiabilidad del sistema de distribución de energía eléctrica suministrada a los usuarios a través de la ANDE.

También se logrará mejorar los niveles de tensión y se reducirán las pérdidas de potencia activa tal como puede ser observado en la siguiente tabla.

Pérdida de potencia activa			
	Sistema de Conductor desnudo	Sistema de Conductor protegido	Reducción
COV3	192.00	156.44	35.56
COV6	134.24	110.33	23.91

Tabla V:2: Reducción de la pérdida de potencia activa. [36]

Además se obtuvo una reducción en la poda de árboles, tanto en volumen y frecuencia. Obteniendo consigo menor impacto visual por las podas predatorias, menor inversión por parte de la ANDE para dicho efecto, como así también, reducción en los gastos de mantenimiento y pérdida de energía no facturada.

VI. CONCLUSIONES

Se demostró que con el cambio del sistema de distribución aérea de MT protegida se llega a mejorar la confiabilidad y la calidad de la energía eléctrica suministrada a los usuarios, obteniendo con el mismo una reducción importante en el DEP y FEP ante un sistema de distribución aérea de conductores desnudos.

Con los valores expuestos en cuanto al mantenimiento y poda de árboles se reducen los costos en el sistema protegido, obteniendo con ello un ahorro en ambos rubros, como así también la disminución de la polución visual causada por la poda predatoria de los árboles en el sistema de distribución aérea de conductores desnudos. Aparte de mejorar la estética reduciendo el espacio utilizado por este tipo de sistema de distribución, se da la posibilidad de que a futuro se pueda ampliar el sistema, a través de las dobles ternas sobre las estructuras existentes.

El cambio del sistema de distribución aérea de MT tendría un costo aproximado de Guaraníes 4.466.782.265 y en base a los beneficios esperados con un TIR del 12% y VAN de Guaraníes 4.409.573.048, siendo la tasa de descuento del 10% para un horizonte de análisis de 15 años, con lo cual queda demostrado su factibilidad económica lo que avala su implementación.

VII. RECOMENDACIONES

En base a lo presentado en capítulos anteriores, se recomienda la realización de las siguientes acciones:

- De acuerdo a lo observado en los DEP y FEP de otras importantes ciudades del país, se pueden observar elevados valores al igual que la ciudad de Coronel Oviedo, por lo cual se deben de llevar a cabo trabajos de implementación de los sistemas de distribución aérea protegida de MT a modo de mejorar la calidad y confiabilidad de dichos sistemas.
- Elaborar reglamento de MT de la ANDE con los métodos de aplicación, montaje y mantenimiento de los sistemas de distribución de conductores protegidos con espaciadores.

VIII. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Reducción de poda de árboles

A.1.1. Cálculo de poda de árboles

El cálculo de poda de árboles de los 2 alimentadores de la ciudad de Coronel Oviedo en el sistema de distribución aérea de conductores desnudos, se expresa en la siguiente tabla.

Longitud de poda	1,829	metros
Tiempo Unitario	0.0105	horas
Costo Horas-Hombre	400,000	Gs./horas.mtrs
Costo Parcial	7,680,582	Gs.

Tabla A:1: Poda de árboles de conductores desnudos, COV3 y COV6

A.1.2. Reducción de costo por poda de árboles

Con la implementación del sistema de distribución aérea de conductores protegidos en MT el costo destinado a poda de árboles se reduce en un 79,50% [33], así como la poda en volumen y frecuencia.

	Año	Sistema de Conductor desnudo	Sistema de Conductor protegido	Ahorro (Gs)
0	2015	7,680,582	1,574,519	6,106,063
1	2016	7,680,582	1,574,519	6,106,063
2	2017	7,680,582	1,574,519	6,106,063
3	2018	7,680,582	1,574,519	6,106,063
4	2019	7,680,582	1,574,519	6,106,063
5	2020	7,680,582	1,574,519	6,106,063
6	2021	7,680,582	1,574,519	6,106,063
7	2022	7,680,582	1,574,519	6,106,063
8	2023	7,680,582	1,574,519	6,106,063
9	2024	7,680,582	1,574,519	6,106,063
10	2025	7,680,582	1,574,519	6,106,063
11	2026	7,680,582	1,574,519	6,106,063
12	2027	7,680,582	1,574,519	6,106,063
13	2028	7,680,582	1,574,519	6,106,063
14	2029	7,680,582	1,574,519	6,106,063
15	2030	7,680,582	1,574,519	6,106,063

Tabla A:2: Inversión SD conductores desnudos y ahorro con el nuevo SD

Siendo expresado en la tabla anterior la inversión destinada a la poda del sistema de distribución de conductores desnudos y el ahorro obtenido con el cambio al sistema de distribución de conductores protegidos en MT.

Apéndice A.2: Reducción de mantenimiento

A.2.1. Costo de mantenimiento de COV3 y COV6 de conductores desnudos

PARAMETROS	ENERO	FEBRERO	MARZO
Costo de materiales utilizados	8,901,877	43,938,517	667,500
Costo de horas cuadrillas utilizado en Mto. Correctivo	89,498,806	279,616,889	44,246,455
Total Costo Mto. Correctivo	98,400,683	323,555,406	44,913,955
Cantidad de Alimentadores con Mto. Correctivo	7	7	7
Costo Promedio Mto. Correctivo del mes	14,057,240	46,222,201	6,416,279
Costo Promedio de Mto. (mensual) 1 alimentador	22,231,907	Gs./mes	
Costo Promedio de Mto. (anual) 1 alimentador	266,782,882	Gs./año	
Costo Promedio de Mto. COV3, COV6	533,565,765	Gs./año	

Tabla A:3: Resumen de costo de mantenimiento

A.2.2. Reducción de costo por mantenimiento

	Año	Sistema de Conductor desnudo	Sistema de Conductor protegido	Ahorro (Gs)
0	2015	533,565,765	209,691,346	323,874,419
1	2016	549,572,737	215,982,086	333,590,651
2	2017	566,059,919	222,461,548	343,598,371
3	2018	583,041,717	229,135,395	353,906,322
4	2019	600,532,968	236,009,456	364,523,512
5	2020	618,548,957	243,089,740	375,459,217
6	2021	637,105,426	250,382,432	386,722,994
7	2022	656,218,589	257,893,905	398,324,683
8	2023	675,905,146	265,630,723	410,274,424
9	2024	696,182,301	273,599,644	422,582,657
10	2025	717,067,770	281,807,634	435,260,136
11	2026	738,579,803	290,261,863	448,317,940
12	2027	760,737,197	298,969,718	461,767,479
13	2028	783,559,313	307,938,810	475,620,503
14	2029	807,066,092	317,176,974	489,889,118
15	2030	831,278,075	326,692,283	504,585,792

Tabla A:4: Reducción de costo por mantenimiento

Con la implementación del sistema de distribución aérea de conductores protegidos en MT el costo destinado al mantenimiento preventivo y correctivo se reduce en un promedio de 60,70% [33].

Apéndice A.3: Reducción de PENF

A.2.1. PENF de los alimentadores desnudos COV3 y COV6 y el ahorro obtenido con el sistema de distribución protegida.

	Año	Sistema de Conductor desnudo	Sistema de Conductor protegido	Ahorro (Gs)
0	2015	16,272,958	1,057,742	15,215,216
1	2016	17,003,614	1,105,235	15,898,379
2	2017	17,767,076	1,154,860	16,612,216
3	2018	18,564,818	1,206,713	17,358,105
4	2019	19,398,378	1,260,895	18,137,484
5	2020	20,269,365	1,317,509	18,951,857
6	2021	21,179,460	1,376,665	19,802,795
7	2022	22,130,418	1,438,477	20,691,940
8	2023	23,124,073	1,503,065	21,621,009
9	2024	24,162,344	1,570,552	22,591,792
10	2025	25,247,233	1,641,070	23,606,163
11	2026	26,380,834	1,714,754	24,666,080
12	2027	27,565,334	1,791,747	25,773,587
13	2028	28,803,017	1,872,196	26,930,821
14	2029	30,096,273	1,956,258	28,140,015
15	2030	31,447,595	2,044,094	29,403,502

Tabla A.5: Reducción de PENF

Apéndice B: Ingeniería de diseño

Apéndice B.1: Cálculo de impedancias de los conductores desnudos y protegidos

B.1.1. Cálculo de impedancia de la línea de conductores desnudos

Calcular Z

Conductor de 35 mm² y de 150mm²

Conductor tipo ACSR

Datos:

Considerar $\rho = 0,028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (a 20°C)

Diámetro	Nº de hebras	Diámetro de alambre	Diámetro nominal
35mm ²	7	2,52mm	7,56mm
150mm ²	37	2,52mm	15,75mm

Tabla B.1: Datos sobre conductores desnudos

○ Cálculo de resistencia

$$R = \frac{r \times l}{A}$$

$$R_{35} = \frac{0,028 \times 1000 \times 1,02}{\pi \left(\frac{2,52}{2}\right)^2 \times 7} = 0,8180 \Omega/\text{Km}$$

$$R_{35} = 0,8180 \Omega/\text{Km} \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

$$R_{35} = 0,9992 \Omega/\text{Km} \text{ a } 75^\circ\text{C}$$

$$R_{150} = \frac{0,028 \times 1000 \times 1,02}{\pi \left(\frac{2,52}{2}\right)^2 \times 37} = 0,1941 \Omega/\text{Km}$$

$$R_{150} = 0,1941 \Omega/\text{Km} \text{ a } 20^\circ\text{C}$$

$$R_{150} = 0,2371 \Omega/Km \text{ a } 75^{\circ}C$$

○ **Cálculo de reactancia inductiva**

$$L = 0,7411 \times \log \frac{Deq}{Ds} \text{ (mH/mi)}$$

$$XL = 2\pi \times f \times 10^{-3}$$

$$Deq = \sqrt[n]{D1 \times D2 \times \dots \times Dn}$$

$$Deq = \sqrt[3]{0,75 \times 1,45 \times 2,2}$$

$$Deq = 1,3375m \text{ para } 35mm^2 \text{ y } 150mm^2$$

$$Ds \cong K\sqrt{A}$$

• **Para conductor de 35mm²**

$$K = 0,4114 \text{ (conductor de 7 alambres)}$$

$$A = 35mm^2$$

$$Ds \cong 0,4114\sqrt{35}$$

$$Ds = 2,4338 \text{ mm}$$

$$L = 2,03062 \text{ (mH/mi)}$$

$$XL = 0,6379 \Omega/mi$$

$$XL = 0,3964 \Omega/km$$

• **Para conductor de 150mm²**

$$K = 0,3637 \text{ (conductor de 37 alambres)}$$

$$A = 150mm^2$$

$$Ds \cong 0,3637\sqrt{150}$$

$$Ds = 4,4544 \text{ mm}$$

$$L = 1,8361 \text{ (mH/mi)}$$

$$XL = 0,5768 \Omega/mi$$

$$XL = 0,3584 \Omega/km$$

Entonces, tenemos para:

- **Conductores de 35mm²:**

$$Z_{35} = 0,9992 + j 0,3964 \Omega/km$$

- **Conductores de 150mm²:**

$$Z_{150} = 0,2371 + j 0,3584 \Omega/km$$

B.1.2. Parámetros eléctricos de las redes protegidas

- **Conductores**

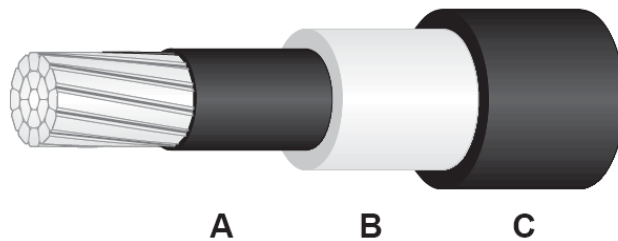


Figura B.1: Conductor protegido

$$Z_1 = Z_2 = R_a + j(X_a + X_d)$$

$$Z_0 = (R_a + R_e) + j(X_a + X_e - 2X_d)$$

- **Determinación de la DMG**

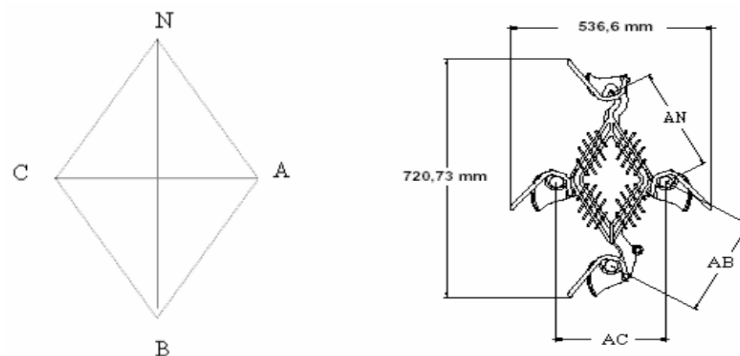


Figura B.2: Espaciador poligonal

Tensión nominal	23KV	
Separación entre conductores (mm)	AB	292.1
	BC	292.1
	CN	305
	NA	305
	BN	520.7
	AC	292

Tabla B: 2: Separación entre conductores [24]

$$DMG = \sqrt[n]{D1 \times D2 \times \dots \times Dn}$$

$$DMG = \sqrt[3]{292 \times 292 \times 292}$$

$$DMG = 292.1 \text{ mm} = 29.21 \text{ cm} = 0.2921 \text{ m}$$

○ **Determinación de RMG**

$$RMG \cong K \sqrt{S}$$

• **Para conductor de 70 mm²**

K = 0.4700, conductores de 7 alambres

S = 70 mm²

$$RMG \cong 0.4700 \sqrt{70}$$

$$RMG \cong 3.9323 \text{ mm} = 0.39323 \text{ cm} = 0.0039323 \text{ m}$$

• **Para conductor de 185 mm²**

K = 0.4482, conductores de 19 alambres

S = 185 mm²

$$RMG \cong 0.4482 \sqrt{185}$$

$$RMG \cong 6.0962 \text{ mm} = 0.60962 \text{ cm} = 0.0060962 \text{ m}$$

Conductores de 70 mm²

○ **Cálculo de impedancia de secuencia positiva y negativa**

a) Cálculo de resistencia de secuencia positiva “R1” a temperatura de 75°C

La resistencia a 75°C en el conductor está dada por la siguiente expresión:

$$R_{1_{75^{\circ}C}} = R_{1_{20^{\circ}C}} [1 + \alpha (t_c - t_a)] (\Omega/Km)$$

$$R_{1_{75^{\circ}C}} = 0.5207 (\Omega/Km) \text{ (datos del fabricante)}$$

b) Cálculo de reactancia de secuencia positiva “X1”

$$X_1 = 0.002894 \times f \times \log \left(\frac{DMG}{RMG} \right) (\Omega/Km)$$

Con $f = 50$ Hz

$$X_1 = 0.002894 \times f \times \log \left(\frac{DMG}{RMG} \right) (\Omega/Km)$$

$$\mathbf{X_1 = 0.2707 (\Omega/Km)}$$

c) Cálculo de resistencia de secuencia cero “R0”

$$R_{0_{75^{\circ}C}} = R_a + R_e (\Omega/Km) \text{ donde: } R_{1_{75^{\circ}C}} = R_a$$

$$R_e = 0.00296085 \times f (\Omega/Km) = 0.1480 (\Omega/Km)$$

$$\mathbf{R_{0_{75^{\circ}C}} = 0.6687 (\Omega/Km)}$$

d) Cálculo de reactancia de secuencia positiva “X0”

$$X_0 = X_a + X_e - 2X_d$$

$$X_a = 0.27285 (\Omega/Km)$$

$$X_d = -0.002674 (\Omega/Km)$$

$$X_e = 0.004341 \times f \times \log \left(4,665,600 \times \frac{\rho}{f} \right) (\Omega/Km)$$

Dónde: $f = 50\text{Hz}$; $\rho = 100\Omega\text{xm}$

$$X_e = 1.5128 (\Omega/Km)$$

$$X_0 = 1.7909 (\Omega/Km)$$

Por tanto, para conductores de 70 mm²

$$Z_1 = Z_2 = 0.5207 + j 0.2707 (\Omega/Km)$$

$$Z_0 = 0.6687 + j 1.7909 (\Omega/Km)$$

Conductores de 185 mm²

○ **Cálculo de impedancia de secuencia positiva y negativa**

a) Cálculo de resistencia de secuencia positiva “R1” a temperatura de 75°C

La resistencia a 75°C en el conductor está dada por la siguiente expresión:

$$R_{175^\circ C} = R_{120^\circ C} [1 + \alpha (t_c - t_\alpha)] (\Omega/Km)$$

$$R_{175^\circ C} = 0.2063 (\Omega/Km) \text{ (datos del fabricante)}$$

b) Cálculo de reactancia de secuencia positiva “X1”

$$X_1 = 0.002894 \times f \times \log \left(\frac{DMG}{RMG} \right) (\Omega/Km)$$

Con $f = 50 \text{ Hz}$

$$X_1 = 0.002894 \times f \times \log \left(\frac{DMG}{RMG} \right) (\Omega/Km)$$

$$X_1 = 0.2431 (\Omega/Km)$$

c) Cálculo de resistencia de secuencia cero “R0”

$$R_{0_{75^{\circ}C}} = R_a + R_e \left(\frac{\Omega}{Km} \right) \text{ donde: } R_{1_{75^{\circ}C}} = R_a$$

$$R_e = 0.00296085 \times f \left(\frac{\Omega}{Km} \right) = 0.1480 \left(\frac{V}{Km} \right)$$

$$\mathbf{R_{0_{75^{\circ}C}} = 0.3543 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)}$$

d) Cálculo de reactancia de secuencia positiva “X0”

$$X_0 = X_a + X_e - 2X_d$$

$$X_a = 0.2458 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$

$$X_d = -0.002674 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$

$$X_e = 0.004341 \times f \times \log \left(4,665,600 \times \frac{\rho}{f} \right) \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$

Dónde: $f = 50\text{Hz}$; $\rho = 100\Omega\text{xm}$

$$\mathbf{X_e = 1.5128 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)}$$

$$\mathbf{X_0 = 1.7639 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)}$$

Por tanto, para conductores de 185 mm²

$$\mathbf{Z_1 = Z_2 = 0.2063 + j 0.2431 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)}$$

$$\mathbf{Z_0 = 0.3543 + j 1.7639 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)}$$

Como se puede observar las líneas de conductores protegidos presentan una menor impedancia, al ser comparada con las líneas de conductores desnudos, por lo cual la misma presenta una menor caída de tensión, mejorando de esta forma la calidad del servicio de energía eléctrica brindada a los usuarios finales.

Apéndice B.2: Proyecto ejecutivo

B.2.1. Croquis orientativo del trayecto de los 2 alimentadores



Figura B.3: Croquis de ubicación. COV3 y COV6

B.2.2. Plano del proyecto ejecutivo los 2 alimentadores

Resumen de obra, COV3 y COV6:

Cambio de conductor de línea en MT de desnudo de 3 x 150mm² a protegido de 3 x 185mm².

Cambio de conductor en línea en MT de desnudo de 3 x 35 mm² a protegido de 3 x 70 mm².

Reconectar las líneas de BT existentes

Apéndice B.3: Características y sección del conductor

Tabla B:1: Requisitos físicos y eléctricos de los compuestos de XLPE. [37]

Ítem	Requisitos físicos	Valores exigidos
A.1	<u>Requisitos mecánicos, antes del envejecimiento</u>	
	Resistencia a la tracción, mínima (Mpa). Alargamiento a la ruptura, mínima (%)	12,5 200
A.2	<u>Requisitos mecánicos, después del envejecimiento acelerado en estufa de aire(135±3)°C, durante 168 horas:</u> Variación máx. para resistencia a la tracción y alargamiento a la ruptura: (%)	±25
A.3	<u>Alargamiento en caliente, (250±3)°C durante 15 minutos:</u>	
	Esfuerzo mecánico (Mpa):	0,2
	Máximo alargamiento después del enfriamiento: Máximo alargamiento sobre carga (%):	15 175
A.4	<u>Absorción de la humedad, método gravimétrico, (85°C+2)°c, después de 336 horas de inmersión:</u> Variación máxima de masa permitida(mg/cm ²)	1
A.5	<u>Retracción:</u>	
	Temperatura (tolerancia ±3°C)	130°C
	Duración : (hora) Retracción máxima permisible: (%)	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:4: Requisitos físicos de la cobertura externa – HDPE. [37]

Ítem	Requisitos físicos	Valores exigidos
a.	Requisitos mecánicos, antes del envejecimiento Resistencia a la tracción, mínimo (Mpa): Alargamiento a la ruptura, mínimo (%)	21,5 300
b.	Requisitos mecánicos, después del envejecimiento acelerado en estufa de aire(110±3)°C, durante 336 horas: Alargamiento a la ruptura, mínimo (%)	300
c.	Deformación por calor en relación a la espesura original (90±1)°C: Deformación máxima (%):	10
d.	Absorción de la humedad, método gravimétrico, (85°C±3)°C, después de 336 horas de inmersión: Variación máxima de masa permitida (mg/cm ²) (%)	0,75
e.	Retracción al calor Temperatura 100±2°C Duración: 1 hora Retracción máxima permitida (%)	4
f.	Doblamiento en frío Temperatura 25±1°C Duración: 1 hora Resultado:	Sin rajadura
g.	Resistencia a la figuración: Temperatura: ambiente Duración: 48 horas Resultado:	Sin rajadura
h.	Contenido de negro de humo (carbono), mínimo (%) Dispersión del negro de humo:	2 <5
i.	Constante dieléctrica (máxima)	2,8

Apéndice B.4: Lista de estructuras a ser montadas

B.4.1. Montaje en el sistema de distribución protegida

Descripción	Código	Unidad	Cant	Precio Unitario	Total
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/800Kg	2596 5019	N°	39	2,271,595	88,592,205
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/500Kg	2596 5018	N°	2	1,534,330	3,068,660
Erección y fijación con cimentación reforzada tipo II poste de H°A° 12m/300Kg	2596 5021	N°	73	1,071,455	78,216,215
Tendido de conductor protegido MT de 185mm ²	403-5623	Mtrs	27965	32,285	902,850,02 5
Tendido de conductor protegido MT de 70mm ²	403-5622	Mtrs	3690	15,344	56,619,360
Tendido de cabo mensajero de 3/8"	404-5634	Mtrs	10552	5,170	54,553,840
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°1	185-70	N°	111	594,392	65,977,512
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°1-A	185-70	N°	70	704,008	49,280,560
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°2	1602-185	N°	8	1,051,380	8,411,040
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°3	1603-185	N°	3	2,001,720	6,005,160
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°4	1604-185	N°	6	4,718,040	28,308,240
	1604-70	N°	1	4,692,072	4,692,072
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°5	1605-185	N°	3	3,599,280	10,797,840
	1605-70	N°	4	3,589,794	14,359,176
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°6	1606-185	N°	4	3,782,262	15,129,048
	1606-70	N°	2	3,861,960	7,723,920
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°7	1607-185	N°	5	3,842,361	19,211,805
	1607-70	N°	2	3,762,663	7,525,326
Montaje de Estructura MT tipo EPMTH°11	1611-185	N°	10	5,626,097	56,260,970
	1611-70	N°	2	5,633,606	11,267,212

Descripción	Código	Unidad	Cant	Precio Unitario	Total
Montaje de Estructura MT tipo EPMTED (separadores)	185-70	Nº	867	170,040	147,424,680
Montaje de Estructura MT tipo PDEXIST	185	Nº	31	587,400	18,209,400
	70	Nº	8	570,660	4,565,280
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDH°5	9005 035	Nº	9	429,501	3,865,509
Montaje de Estructura MT tipo EPSLT 1-6	1615- 185	Nº	17	4,806,960	81,718,320
	1615-70	Nº	1	3,956,793	3,956,793
Montaje de PTMT	2801-25	Nº	19	485,705	9,228,395
Montaje de DSH°1	1616- 185	Nº	21	2,384,295	50,070,195
	1616-70	Nº	1	2,334,960	2,334,960
TSA 240	7006-01	Nº	2	6,844,687	13,689,374
Estructuras de Acero					
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA1	185-70	Nº	65	594,392	38,635,480
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA1-A	185-70	Nº	21	706,840	14,843,640
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA2	1702- 185	Nº	2	1,066,270	2,132,540
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA3	1703- 185	Nº	3	2,015,639	6,046,917
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA6	1706- 185	Nº	6	2,063,517	12,381,102
	1706-70	Nº	3	2,143,215	6,429,645
Montaje de Estructura MT tipo EPMTA7	1707- 185	Nº	10	2,087,915	20,879,150
	1707-70	Nº	1	2,022,098	2,022,098
Montaje de Estructura MT tipo PMTTDA°5	1205- 035	Nº	10	444,961	4,449,610
TOTAL MATERIALES (Gs)					1,931,733,274

Tabla B:5: Montaje de estructuras, conductores en COV3 y COV6

Apéndice B.5: Cantidad de espaciadores y vanos para cada tipo de estructura

Tabla B:6: Distancia entre EPMT1 y EPMT1/EPMT1A

Vanos	Espaciadores
Hasta 20 m.	1
De 21 hasta 30m.	2
De 31 hasta 40m.	3
De 41 hasta 50m.	4
De 51 hasta 60m.	5
De 61 hasta 70m.	6
De 71 hasta 80m.	7

Tabla B:7: Distancia entre EPMT1/EPMT1A y cualquier otro tipo de estructura (que no sea de alineación)

Vanos	Espaciadores
Hasta 23 m.	2
De 24 hasta 33m.	3
De 34 hasta 43m.	4
De 44 hasta 53m.	5
De 54 hasta 63m.	6
De 64 hasta 73m.	7
De 74 hasta 83m.	8

Tabla B:8: Distancia entre EPMT2 y cualquier otro tipo de estructura (entre EPMT2/EPMT2; EPMT2/EPMT3; etc.)

Vanos	Espaciadores
Hasta 24 m.	1
De 25 hasta 34m.	2
De 35 hasta 44m.	3
De 45 hasta 54m.	4
De 55 hasta 64m.	5
De 65 hasta 74m.	6
De 75 hasta 84m.	7

Apéndice C: Evaluación económica

**Apéndice C.1: Determinación de la Tasa
Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto
(VPN) y el Periodo de Retorno de la
Inversión (PRI)**

C.1.1 Elaboración del flujo de caja proyectada

Una vez desarrollado el flujo de caja proyectada, de las inversiones y beneficios previstos con la puesta en servicio del sistema de distribución aéreo de media tensión de conductores protegidos, como se puede observar en la tabla C.1 y C.2

Tabla C:1: Flujo de caja de los beneficios previstos

Concepto	Ahorros (Gs)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Reducción de Poda de árboles	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063
Reducción de Mantenimiento	323,874,419	333,590,651	343,598,371	353,906,322	364,523,512	375,459,217	386,722,994	398,324,683
Reducción de PENF	15,215,215	15,898,378	16,612,216	17,358,104	18,137,483	18,951,856	19,802,794	20,691,940
Perdida Potencia Activa	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809
Total (Gs)	505,579,506	515,978,901	526,700,459	537,754,298	549,150,867	560,900,945	573,015,660	585,506,495

Concepto	Ahorros (Gs)							
	8	9	10	11	12	13	14	15
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Reducción de Poda de árboles	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063	6,106,063
Reducción de Mantenimiento	410,274,424	422,582,657	435,260,136	448,317,940	461,767,479	475,620,503	489,889,118	504,585,792
Reducción de PENF	21,621,008	22,591,791	23,606,163	24,666,079	25,773,586	26,930,820	28,140,014	29,403,501
Perdida Potencia Activa	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809	160,383,809
Total (Gs)	598,385,304	611,664,320	625,356,171	639,473,891	654,030,937	669,041,195	684,519,004	700,479,165

Tabla C:2: Flujo de caja proyectada de las inversiones previstas

Años	0	1	2	3	4	5	6	7
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Inversión	4,466,782,265							
Ahorro	505,579,506	515,978,901	526,700,459	537,754,298	549,150,867	560,900,945	573,015,660	585,506,495
Total	3,961,202,759	515,978,901	526,700,459	537,754,298	549,150,867	560,900,945	573,015,660	585,506,495
Valor acumulado	3,961,202,759	3,445,223,858	2,918,523,399	2,380,769,101	1,831,618,234	1,270,717,289	697,701,629	112,195,134

Años	8	9	10	11	12	13	14	15
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Inversión								
Ahorro	598,385,304	611,664,320	625,356,171	639,473,891	654,030,937	669,041,195	684,519,004	700,479,165
Total	598,385,304	611,664,320	625,356,171	639,473,891	654,030,937	669,041,195	684,519,004	700,479,165
Valor acumulado	486,190,170	1,097,854,490	1,723,210,661	2,362,684,552	3,016,715,489	3,685,756,684	4,370,275,688	5,070,754,853

C.1.2 Determinación de la tasa interna de rendimiento (TIR)

En base a las tablas expuestas en el ítem anterior se calcula la tasa interna de rendimiento, obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{TIR} = 12\%$$

Al ser la tasa de descuento = 10 % y TIR = 12% → El proyecto es rentable

C.1.3 Determinación del valor presente neto (VPN)

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el flujo de caja proyectada y con una tasa de descuento igual al 10% y para un periodo de 15 años. Aplicando la formulas del VPN expuestas en capítulos anteriores se ha obtenidos los resultados, cuyo resumen se puede observar en la figura C.1

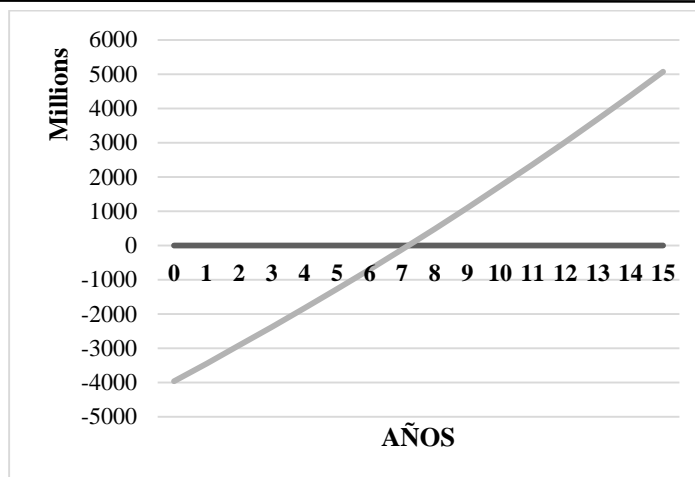


Figura C.1: Método del VPN con tasa de descuento del 10%

Esto nos indica que la inversión será recuperada aproximadamente en 7 años.

Los criterios que se tienen en cuenta para ver si el proyecto es rentable, son los siguientes:

VPN < 0; No rentable.

VPN = 0; Indistinto.

VPN > 0; Rentable.

Aplicando la fórmula al flujo de caja proyectada para una proyección de 15 años, se obtuvo el siguiente resultado:

VPN =	Gs. 4,409,573,048
-------	-------------------

Al ser el $VPN > 0$ se concluye que el proyecto es rentable.

C.1.4. Determinación del periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Con el dato obtenido en el valor presente neto ya se puede observar un periodo aproximado de retorno de la inversión, pero para poder tener un tiempo exacto se determina el PRI, aplicando la fórmula expuesta en el Capítulo 4, se obtuvo el siguiente resultado:

PRI =	7.19
PRI =	7 años 2 meses

Con lo cual se concluye que lo invertido se recuperara en un periodo no tan extenso, comprobando que el proyecto es rentable.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. R. E. y. Lara, *Sistemas de Distribución*, México: Limusa, 1990.
- [2] «Biblioteca de Ingeniería. Universidad de Sevilla,» [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70003/fichero/Trabajo+Fin+Master.pdf>. [Último acceso: 14 Noviembre 2014].
- [3] A. J. Pansini, «Distribution System Considerations,» de *Electrical Distribution Engineering*, Estados Unidos, The Fairmont Press, INC, 2007, pp. 9-33.
- [4] J. Nogués, «Líneas aéreas eléctricas de distribución en media y baja tensión,» 2n CFGS instalaciones electrotécnicas, 2004-2005.
- [5] «Preparadores,» Julio 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.preparadores.eu/temamuestra/Secundaria/SEA.pdf>. [Último acceso: 10 Mayo 2014].
- [6] Prysmian, *Líneas aéreas de media tensión*, Buenos Aires. Argentina, 2008.
- [7] M. A. Pérez, Proyecto de Tesis. *Redes de Distribución Aéreas Compactas en Media Tensión*, México, 2009, pp. 12-23.
- [8] COIDEA S.A, *Redes aéreas compactas*, vol. IV, Buenos Aires: IV, 2011, p. 4.
- [9] «Intranet,» [En línea]. Disponible en: <http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/1/01/03/01/II.6.Calidad%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.htm>. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [10] Universidad del Atlántico y la Universidad Autónoma del Occidente, «SI3EA,» 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>. [Último acceso: 6 Enero 2015].
- [11] A. Francke, «Sistema trifásico asimétrico y desequilibrado,» *ElectroInstalador*, vol. 2, n° 18, pp. 16-18, Febrero 2008.
- [12] I. E. T. Ramírez, «Watergy,» [En línea]. Disponible en:

- <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [13] J. Cidrás y C. Carrillo, «Universidad de Vigo,» [En línea]. Disponible en: http://webs.uvigo.es/carrillo/publicaciones/Apuntes_Flicker_prot.pdf. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [14] «URSEA,» 2006-2012. [En línea]. Disponible en: http://www.ursea.gub.uy/inicio/energia_electrica/distribucion/indicadores_calidad_distribucion. [Último acceso: 4 Enero 2015].
- [15] «Ente Nacional Regulador de la Electricidad,» 1993. [En línea]. Disponible en: [http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/97p04.pdf/\\$FILE/97p04.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/Files/97p04.pdf/$FILE/97p04.pdf). [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [16] «CNE,» [En línea]. Disponible en: <http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.exe?CMD=VEROBJ&MLKOB=600726230707>. [Último acceso: 4 Enero 2015].
- [17] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Energía eléctrica: Ministerio de Industria, Energía y Turismo,» 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/energia/electricidad/CalidadServicio/Paginas/IndexCalidad.aspx>. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [18] L. C. M. A. Morinigo, «Procedimiento para la obtención de los Indicadores de Continuidad de Servicio (FEP-DEP),» Sección Administración de Sistemas. Sistema de Operación de Distribución Zona Metropolitana y Bajo Chaco, Coronel Oviedo.
- [19] L. H. Romero, Interviewee, *Comportamiento de las líneas de distribución aéreas protegidas*. [Entrevista]. 16 Julio 2014.
- [20] Catálogo de Produtos para Linhas Preformados Ltda., *Distribución*, Cajamar SP.
- [21] J. W. M. A. y. B. J. T. d. H. W. & C. INC, «Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Plata,» [En línea]. Disponible en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sisspot/Libros%202007/libros/le-gro/compact1.html>. [Último acceso: 6 Enero 2015].
- [22] Preformed Line Products. PLP, «Manual del Intalador virtual,» 2013. [En línea]. Disponible en: <http://sistemamid.com/>. [Último acceso: 5 Enero 2015].
- [23] «Manual del Instalador Digital,» 2015. [En línea]. Disponible en: <http://sistemamid.com/preview.php?a=2597>. [Último acceso: 2 Febrero 2015].
- [24] AES El Salvador, Sistema semi-aislado de construcción compacto, El Salvador,

2008.

- [25] I. O. J. Grosso, «Facultad de ingeniería-Universidad nacional de la plata,» [En línea]. Disponible en: <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros%202007/libros/le-gro/compacta.htm>. [Último acceso: 23 Marzo 2015].
- [26] Copel, *NORMA TÉCNICA COPEL - NTC*, 1ra.Edición, 1997.
- [27] G. B. Urbina, «Fundamentos de Ingeniería Económica,» de *Fundamentos de Ingeniería Económica*, México, Mc Graw Hill, 2007, pp. 90-95.
- [28] L. Blank y A. Tarquin, *Ingeniería económica*, México: McGrawHill, 2006.
- [29] Municipalidad de Coronel Oviedo, «Plan de desarrollo sustentable y lineamientos para el ordenamiento territorial del municipio de Coronel Oviedo,» Coronel Oviedo, 2012.
- [30] Censos de población y proyecciones demográficas (DGEEC).
- [31] P. J. M. Torrecilla, *Metodología de Investigación Avanzada*, (s.f.).
- [32] Norma Técnica Brasileira, *Montagem De Redes De Distribuição. Compacta Protegida 13,8 E 34,5 Kv*, Brasil: 5ta Edição.
- [33] G. d. N. Velasco, *Arborizacao Viaria X Sistemas de Distribuicao de Energia Eléctrica: Avalicao dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos*, Sao Paulo, 2003.
- [34] ANDE, Dirección de Distribución. División Regional Centro. Dpto.de Operación de Distribución Zona Centro, Coronel Oviedo, 2012-2015.
- [35] ANDE, Dirección de Distribución. División Regional Metropolitana y Bajo Chaco. Dpto.de Operación de Distribución Zona Metropolitana y Bajo Chaco., Asunción, 2012.
- [36] Programa CyMdist, 2015.
- [37] ANDE, *Especificacione técnicas. Cable portegido de MT 23KV doble aislación*, Asunción.
- [38] ANDE, *Especificacione técnicas. Cable portegido de MT 23KV*, Asunción.
- [39] ANDE, «Reglamento para Instalaciones Eléctricas de Media Tensión,» Asunción, 1975.