

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“REDISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN DE  
ESPOL IMPLEMENTANDO UN SISTEMA LIGERAMENTE  
MALLADO”**

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Presentado por:

**BÁRBARA IVELISE TAMAYO WONG**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2019 – 1T**



## DEDICATORIA

A Dios por ser mi fuente de fuerzas y sabiduría.

A mis padres Ángel y Nora por darme su apoyo.

A mi hermano Ángel Eduardo por sus consejos.

A mi abuela Ruth que, a pesar de ya no acompañarnos físicamente en este mundo, ha influenciado mucho en mí para que sea constante en lo que me proponga y luche hasta el último por obtener mi título de tercer nivel, sin su amor, apoyo y consejos, que aún guardo en mi mente y corazón, no hubiese llegado hasta el lugar donde hoy me encuentro.

.

Bárbara Ivelise Tamayo Wong.



## **AGRADECIMIENTOS**

La autora está agradecida de todas las instituciones y personas que hicieron posible este trabajo.

Esta tesis de grado nunca hubiera sido posible sin el apoyo financiero de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). La ESPOL nos brindó la oportunidad de convertirnos en Ingenieros.

A mi tutor Msc. Jimmy Córdova y al docente de cátedra de Instalaciones Eléctricas Magister Héctor Plaza por guiarme en el desarrollo del contenido del presente proyecto.

A mi compañera Liz Cobos por su constante apoyo durante la realización de este documento.

Al Ingeniero Walter Mariscal por compartirme sus conocimientos en protecciones eléctricas y en el formato de este documento; al Ingeniero Andrés Jacho por su colaboración en la metodología debido a su experiencia en trabajos de campo.



## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Bárbara Ivelise Tamayo Wong* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Bárbara Ivelise Tamayo  
Wong





# EVALUADORES

---

**MSc. Fernando Vaca Urbano**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**MSc. Jimmy Córdova Villagómez**

PROFESOR TUTOR



## RESUMEN

El sistema de distribución de energía eléctrica en el Campus Prosperina de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) es la parte esencial de las instalaciones de la universidad debido a que, permite la realización de las actividades diarias a los estudiantes, profesores y personal que trabajan dentro de ella.

Partiendo del modelo de anillo abierto propuesto en el proyecto integrador “Análisis y Rediseño del Sistema Eléctrico de Distribución de la ESPOL” realizado el semestre 2018-II, se desea continuar con dicha propuesta añadiendo el diseño de una red de distribución ligeramente mallada.

Se selecciona FIEC y FICT para la realización del mallado ligero que se le quiere aplicar a la red eléctrica de ESPOL. La primera alternativa es mediante un Reconectador y modificación de entradas de transformadores que alimenta a una carga puntual. La segunda alternativa enlaza el cuarto de celdas de media tensión de cada facultad mediante el uso de un Pad-mounted Gear con transferencia automática de fuente.

Se realiza el análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones para conocer el comportamiento de la red mallada propuesta, esto abarca el análisis de flujo de potencia en condiciones normales y en caso de una falla en alguno de los tramos, caída de voltaje, pérdidas de potencia activa y factor de potencia.

Se realiza el análisis económico en el cual se muestra que la segunda alternativa posee un costo de inversión más alto. Hablando en términos de porcentaje se realiza un aumento de dinero de 20% para el caso FIEC y del 15% para de FICT.

**Palabras clave:** red de distribución, mallado ligero, Reconectador, Pad-mounted Gear, flujo de potencia, análisis económico.



# ABSTRACT

The electrical distribution system of the Prosperina Campus of the Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) is the essential part of the university's facilities because it allows students, professors and staff to carry out daily activities Work inside.

Starting from the open ring model proposed in the integration project "Analysis and Redesign of the ESPOL Electric Distribution System" carried out in the 2018-II semester, it is desired to continue with this proposal by adding the design of a slightly meshed distribution network.

FIEC and FICT are selected for the realization of the weakly mesh that is wanted to apply to the ESPOL power grid. The first alternative is through a recloser and modification of transformer inputs that feed a point load. The second alternative links the quarter of tension media cells of each faculty by using a pad-mounted gear with automatic source transfer.

The analysis of the results detected from the simulations is performed to know the behavior of the proposed red mesh, this includes the analysis of the power flow under normal conditions and in case of a failure in any of the sections, voltage drop, loss of active power and power factor.

The economic analysis is performed in which it is shown that the second alternative has a higher investment cost. Told in terms of percentage, a 20% money increase is made for the FIEC case and 15% for FICT.

**Key words:** distribution network, weakly mesh, Recloser, Pad-mounted Gear, power flow, economic analysis.



# TABLA DE CONTENIDO

EVALUADORES.....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xiii
TABLA DE CONTENIDO .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxi
LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....	xxv
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.1.1 Descripción del problema.....	2
1.1.2 Justificación del problema.....	3
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivos General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Marco Teórico .....	4
1.3.1 Sistemas de distribución .....	4
1.3.2 Topología en redes de distribución .....	4
1.3.3 Características de las redes malladas.....	7
1.3.4 Métodos para realización de mallado.....	8
1.3.5 Método basado en compensación de lazos .....	9
1.3.6 Método de compensación de barras PV .....	10
1.3.7 Método Adaptativo .....	11
1.3.8 Estudio de mallado en Italia .....	12
1.3.9 Elementos en Media Tensión.....	14

1.3.10	Celdas de media tensión .....	17
1.3.11	Protecciones para redes de distribución en media tensión .....	18
1.3.12	Infraestructura Subterránea .....	21
<b>Capítulo 2.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>25</b>
2.1	Introducción.....	27
2.2	Características del sistema a modificar .....	27
2.3	Alternativas de Diseño para una Red Ligeramente Mallada .....	28
2.4	Diseño de alimentación mediante el uso de Reconector y adaptación del transformador con Feed-thru Inserts. ....	29
2.4.1	Doble alimentación para transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real de 100KVA – Caso FIEC.....	31
2.4.2	Doble alimentación para el banco de transformadores de Servicios Informáticos de 300KVA – Caso FICT.....	31
2.5	Diseño de alimentación mediante el uso de Pad-mounted Gear .....	32
2.5.1	Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-02 – Caso FIEC. ....	34
2.5.2	Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-05 – Caso FICT.....	35
2.6	Componentes del diseño de doble cruceta.....	35
2.6.1	Cruceta y Ángulos .....	36
2.6.2	Fusibles .....	36
2.6.3	Aisladores Pin.....	37
2.7	Componentes de la Red Subterránea .....	37
2.7.1	Zanja de Media Tensión .....	38
<b>Capítulo 3.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>47</b>



3.1	Introducción.....	49
3.2	Análisis técnico .....	49
3.2.1	Análisis del Flujo de Potencia .....	49
3.2.2	Análisis de Cortocircuito .....	60
3.2.3	Cálculo de la coordinación de las protecciones Reconectador-fusible en los casos FIEC y FICT.....	61
3.2.4	Cálculo de la coordinación de protecciones del Pad-mounted Gear para los casos FIEC y FICT .....	64
3.3	Análisis económico.....	66
3.3.1	Presupuesto de Construcción y mano de obra.....	66
3.3.2	Cálculo de Pérdidas Económicas.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>75</b>
4.1	Conclusiones.....	77
4.2	Recomendaciones.....	78
<b>REFERENCIAS</b>	<b>.....</b>	<b>80</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Configuración Radial [2] .....	5
Figura 1.2 Configuración Anillo [3].....	6
Figura 1.3 Configuración Mallada. [2] .....	6
Figura 1.4 Red Ligeramente Mallada [4].....	8
Figura 1.5 Inyección de corriente en el punto de ruptura [4] .....	9
Figura 1.6 Equivalente de Thévenin [4] .....	9
Figura 1.7 Barra PV con punto de ruptura [4] .....	10
Figura 1.8 Pequeña porción de la red de distribución de Italia [7].....	12
Figura 1.9 Configuraciones de mallado [7] .....	13
Figura 1.10 Poste de Media Tensión ESPOL [7] .....	15
Figura 1.11 Ejemplos entre Acometida Aérea y Acometida Subterránea [9].....	16
Figura 1.12 Cuarto de Celdas [9].....	17
Figura 1.13 Curva de medición Instantánea del Relé 50 [11] .....	20
Figura 1.14 Curva de Tiempo Inverso (Relé 51) [10] .....	20
Figura 1.15 Instalaciones Subterráneas ESPOL [14].....	21
Figura 1.16: Construcción de una Zanja. [7].....	22
Figura 1.17: Construcción de Zanja cruzando la Calzada [9].....	23
Figura 1.18: Composición de un Conductor de Media Tensión. [17].....	24
Figura 2.1 Feed-thru Inserts. [19] .....	29
Figura 2.2 Reconectador ABB OVR-15. [20] .....	29
Figura 2.3 Conector codo fusible. [19] .....	30
Figura 2.4 Alimentación de transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real – FIEC.....	31
Figura 2.5 Alimentación de banco de transformadores CT-17 – FICT. ....	32
Figura 2.6 Source-Transfer PMH-6 Pad-mounted Gear.[17].....	33
Figura 2.7 Micro-AT Source Transfer Control. [18] .....	33
Figura 2.8 Diagrama de conexión del Pad-mounted Gear. [17] .....	33
Figura 2.9 Alimentación de CM-02 – FIEC. ....	34
Figura 2.10 Alimentación de CM-05 – FICT. ....	35
Figura 2.11 Implementación de doble cruceta.....	36
Figura 2.12 Cruceta con Ángulos .....	36
Figura 2.13 Fusible de 15kV [22].....	36
Figura 2.14 Aislador Pin de 15Kv. ....	37

Figura 2.15 Separación y Material de ductos Eléctricos (referencia manual de construcción-redes subterráneas) [23] .....	38
Figura 2.16 Dimensionamiento de la tapa de cajas de paso [23].....	41
Figura 2.17 Tapa tipo B [23] .....	41
Figura 2.18 Caja de paso para Redes Subterráneas. [23] .....	42
Figura 2.16 Poste con acometida Subterránea.....	43
Figura 2.17 Tubería Metálica Galvanizada para trasladar acometida aérea a subterránea. [24] .....	44
Figura 2.18 Diagrama de Acometida Subterránea por medio del Tubo Galvanizado. ....	44
Figura 3.1. Corriente mínima que le llega a CM-02 .....	60
Figura 3.2. Corriente mínima que le llega a CM-05 .....	60
Figura 3.3. Diagrama unifilar de configuración con Reconectador. [25] .....	61
Figura 3.4. Curva de tiempo del Reconectador. [25] .....	61
Figura 3.5. Curva de coordinación Reconectador-fusible. ....	62
Figura 3.6. Curva de tiempo vs Multiplicador de corriente para la protección del Reconectador.....	63
Figura 3.7. Curva de tiempo vs Multiplicador de corriente para la protección del Pad-mounted Gear.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Condiciones de Cruzamientos y Paralelismos [16] .....	23
Tabla 1.2 Parámetros de Emplazamientos [16] .....	24
Tabla 2.2 Especificaciones del Reconector. [20] .....	30
Tabla 2.1 Especificaciones del Pad-mounted Gear .....	34
Tabla 2.3 Variables Importantes del Aislador Pin .....	37
Tabla 2.4 Ductos y Tuberías Metálicas para emplear en canalizaciones y transiciones .....	40
Tabla 2.5 Dimensiones de las Cajas de Paso según el tipo. ....	42
Tabla 3.1 Resumen de flujo de potencia. ....	50
Tabla 3.2 Presupuesto de la primera fase del proyecto. ....	66
Tabla 3.3 Presupuesto de la doble cruceta. ....	67
Tabla 3.4 Costos anuales de pérdidas. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## **LISTADO DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

ESPOL	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FIEC	FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y COMPUTACIÓN
FICT	FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INEN	SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN
IEEE	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
ANSI	AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE
CM	CUARTO DE CELDAS DE MEDIA TENSIÓN
CT	CUARTO DE TRANSFORMADORES





# Capítulo 1. Introducción

---

# Capítulo 1. Introducción

---

1.1	Contexto.....	1
1.1.1	Descripción del problema .....	2
1.1.2	Justificación del problema.....	3
1.2	Objetivos .....	3
1.2.1	Objetivos General .....	3
1.2.2	Objetivos Específicos.....	4
1.3	Marco Teórico .....	4
1.3.1	Sistemas de distribución .....	4
1.3.2	Topología en redes de distribución .....	4
1.3.3	Características de las redes malladas .....	7
1.3.4	Métodos para realización de mallado.....	8
1.3.5	Método basado en compensación de lazos .....	9
1.3.6	Método de compensación de barras PV .....	10
1.3.7	Método Adaptativo .....	11
1.3.8	Estudio de mallado en Italia .....	12
1.3.9	Elementos en Media Tensión.....	14
1.3.10	Celdas de media tensión .....	17
1.3.11	Protecciones para redes de distribución en media tensión .....	18
1.3.12	Infraestructura Subterránea .....	21

## **1.1 Contexto**

El sistema de distribución de energía eléctrica en el Campus Prosperina de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) es la parte esencial de las instalaciones de la universidad debido a que, permite la realización de las actividades diarias a los estudiantes, profesores y personal que trabajan dentro de ella.

Partiendo del modelo de anillo abierto propuesto en el proyecto integrador "Análisis y Rediseño del Sistema Eléctrico de Distribución de la ESPOL" realizado el semestre 2018-II, se desea continuar con dicha propuesta añadiendo el diseño de una red de distribución ligeramente mallada.

En el capítulo 1 se describe el problema al cual se le desea proponer una solución fiable. Se detalla los objetivos tanto el general como los específicos, los cuales posteriormente se desea cumplir de manera eficaz en el transcurso de la realización de este proyecto. En la sección de marco teórico se hace una substancial revisión de literatura, la cual contiene los conceptos y descripciones sobre redes malladas y constitución de celdas de media tensión.

En el capítulo 2 se detalla la metodología a implementar para llegar a cumplir los objetivos propuestos en el capítulo anterior. Esto consiste en conocer la topología de la red y ubicación de los elementos presentes, es decir, las conexiones que poseen las celdas de media tensión actualmente para realizar el respectivo análisis mediante la simulación realizada por medio de un software especializado en sistemas de distribución, posteriormente se rediseña la topología antes mencionada para la obtención de una mejor configuración de la red mallada para aumentar la confiabilidad en caso de que se presente alguna falla en el anillo abierto.

En el capítulo 3 se realiza el análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones para conocer el comportamiento de la red mallada propuesta, esto abarca el análisis de flujo de potencia en condiciones normales y en caso de una falla en alguno de los tramos, caída de voltaje, pérdidas de potencia activa, factor de potencia y análisis de costo de recuperación de inversión del proyecto.

### **1.1.1 Descripción del problema**

Actualmente ESPOL cuenta con un diseño eléctrico sensible a fallas que hace que se vaya el 100% de la alimentación de energía eléctrica a través de todo el CAMPUS.

El alimentador Nueva Prosperina 3 llega a la subestación ESPOL que posee una capacidad de 10 MVA, la cual transforma el voltaje de 69 kV a 13.8 kV del cual parten cuatro alimentadores, los cuales son:

- Prepolitécnico y la empresa privada Global Crossing.
- Parque del Conocimiento PARCON.
- ESPOL.
- Libre.

El tercer ramal, tipo radial, comprende de una topología aérea y subterránea, consta de una capacidad instalada monofásica de 0.94 MVA y trifásica de 15.82 MVA. Este ramal es nuestro punto de interés debido a que, comprende todo el Campus en general y es el que alimenta a las 8 facultades que la integran, incluyendo áreas sociales y de recreación, abarcando el 89.25% de capacidad instalada de toda la institución.

Partiendo del proyecto integrador "Análisis y Rediseño del Sistema Eléctrico de Distribución de la ESPOL", se considera la topología de red en anillo abierto el cual presenta en caso de falla, una desconexión máxima de carga de 39%, para esto se plantea una nueva topología de red mallada con el fin de aumentar la confiabilidad del sistema y bajar el porcentaje de desconexión, para no dejar sin servicio a las distintas facultades y áreas comunes que la comprenden.

Para llevar a cabo el proyecto se realiza un estudio técnico - económico, el cual cuenta con levantamiento eléctrico de las celdas de distribución, con su respectivo análisis y posteriormente reubicación si se amerita.

Con el apoyo de un software especializado en sistemas de distribución se hará el diseño y análisis de la red mallada.

Por lo antes mencionado, entre los análisis a realizar en caso de presentarse alguna falla, están flujo de potencia, caída de voltaje, porcentaje de carga aislada en el momento de una falla, actuación de protecciones (Reconectores, tirafusibles y pararrayos).

### **1.1.2 Justificación del problema**

La Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, al ser de categoría A es una de las mejores universidades del país e incluso se encuentra en el ranking de las 100 mejores de Latinoamérica. Por tal motivo, debe de contar con instalaciones confiables que aseguren un servicio continuo y de calidad.

Actualmente el sistema eléctrico del campus cuenta con una configuración radial, la cual es simple y en sus ramales extensos presenta caídas de voltaje, y poco confiable debido a que, al momento de ocurrir alguna falla se produce la desconexión total del alimentador.

Es así como nace la brillante idea de reconfigurar la topología de red eléctrica en ESPOL creando un anillo abierto, el cual ya fue realizado en un proyecto integrador anterior, pero para aumentar su confiabilidad, el presente proyecto continuará con dicha propuesta implementándole un mallado eficaz que modifique y optimice las celdas de media tensión que se encuentran en el Campus Prosperina.

## **1.2 Objetivos**

Para efectuar el presente proyecto, se establece un objetivo general y objetivos específicos que otorguen el manifiesto de la elaboración del trabajo.

### **1.2.1 Objetivos General**

Proponer una mejora al sistema de distribución de media tensión de ESPOL, atenuando las pérdidas de carga, además de mejorar la respuesta ante una falla y/o contingencia en el anillo abierto.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Proponer elementos para el mejoramiento de la red eléctrica mediante la creación de un sistema mallado.
2. Analizar fallas y contingencias para la reducción significativa del porcentaje de la desconexión del 39% de carga en el anillo abierto ante una falla y/o contingencia.
3. Comparar la recuperación de inversión a partir de la reducción de pérdidas de carga.

### **1.3 Marco Teórico**

Para poder tener una idea más precisa de lo que este proyecto abarca se revisa minuciosamente conceptos básicos relacionados a los sistemas de distribución de energía eléctrica, es decir, topologías, protecciones, sistemas mallados los cuales involucran celdas de media tensión y generación de respaldo. Verificando las leyes, regulaciones y normas que se deben de cumplir para la ejecución del estudio.

#### **1.3.1 Sistemas de distribución**

Es aquel que se encarga de transportar la energía eléctrica de una subestación hasta el cliente final siendo este de categoría industrial, comercial y residencial mediante un conjunto de elementos y operaciones que lo componen, teniendo como función principal brindar un excelente servicio sin suspensión de energía eléctrica en caso de fallas en el sistema, por lo cual debe de contar con un esquema de protecciones. [1]

#### **1.3.2 Topología en redes de distribución**

Las redes de distribución poseen arreglos que dependen de la forma de energización que se desea tener con respecto a los puntos de interés del circuito eléctrico ya que contamos con diferentes tipos de configuraciones que son:

##### **A. Configuración Radial**

En esta configuración sólo se alimenta de un extremo a las cargas de la red eléctrica, lo que la hace muy sencilla y de bajo presupuesto debido a que, no hay complejidad en coordinación de protecciones ni en transferencia. Su desventaja es que, al momento de presentarse una falla, este deja sin servicio de energía eléctrica a la parte afectada haciendo que el sistema no sea confiable.

Un punto muy importante es que, si la estructura está muy alejada del pararrayo, la energía será direccionada a tierra lo cual afectará a las estructuras más cercanas.

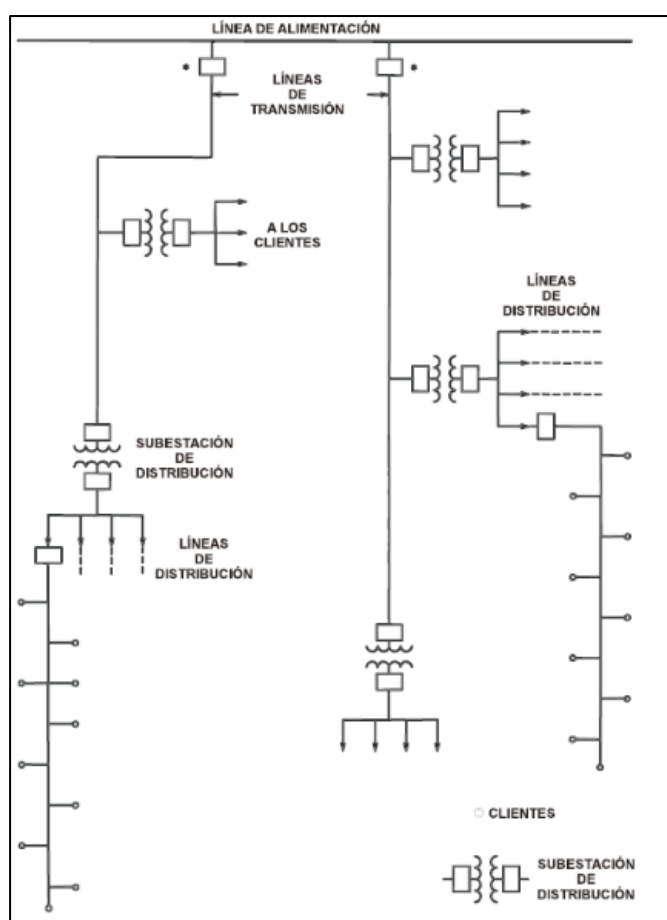


Figura 1.1 Configuración Radial [2]

## B. Configuración Anillo

La alimentación se realiza por ambos lados del circuito, aumentando así su confiabilidad y la calidad del servicio entregado ya que, al momento de producirse un accidente en alguna parte del circuito de alimentación, para garantizar la continuidad de servicio, utiliza Reconectores, para despejar la falla y enlazar de nuevo, cerrando el circuito de falla instantánea, pero con lapso prolongado.

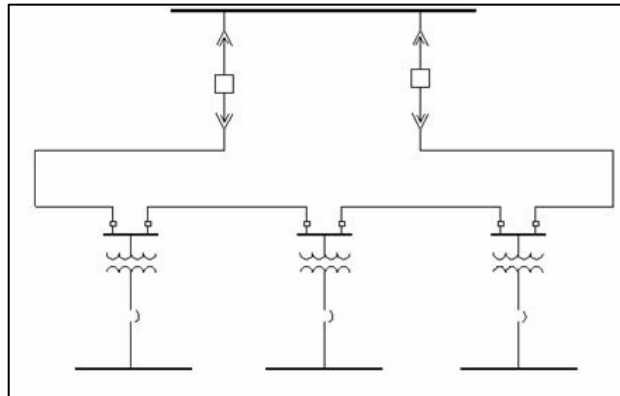


Figura 1.2 Configuración Anillo [3]

### C. Configuración mallada

Es la combinación de las dos configuraciones de red mencionadas anteriormente. La red mallada asegura la alimentación de la carga de manera continua debido a que, si ocurre algún problema en uno de sus ramales, a través de los otros se brinda el servicio de energía eléctrica. Es más rápido en cuestión de mantenimiento, tiene mayor confiabilidad por eso es más costoso en cuanto a precios y complejo en control.

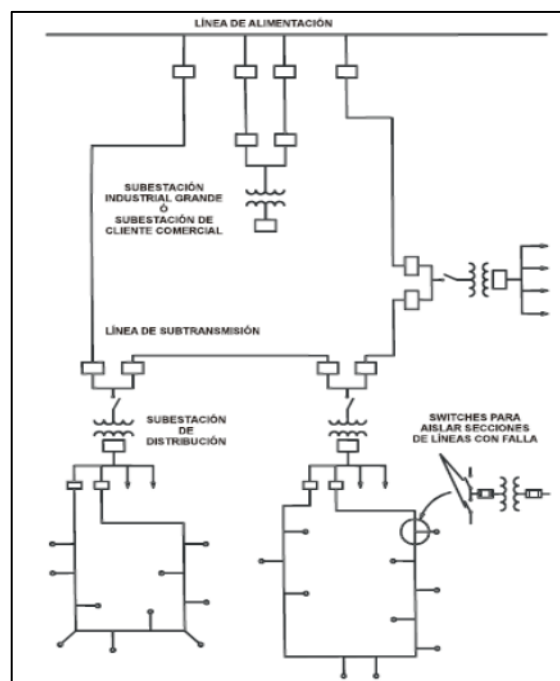


Figura 1.3 Configuración Mallada. [2]



### **1.3.3 Características de las redes malladas**

Para la creación de una red mallada es necesario la ubicación de varios interruptores para asegurar continuidad de servicio por medio de transferencias.

Siendo un problema principal el defecto de baja impedancia entre dos puntos de diferente potencial (cortocircuito), es decir que se abrirán los interruptores afectados, dejando que el suministro o energía llegue a los demás puntos de conexión de red, sin afectar al consumidor final.

Cabe resaltar que, en una red pública con mayor demanda, se realizara un esquema anillado, trabajándolo de forma radial en el caso de ocurrir una falla en las líneas.

Para realizar un mallado a partir de una red en anillo ya estructurada, se debe analizar bien los puntos estratégicos donde se ubicarán los nodos en los cuales se harán transferencia. Es importante tener en cuenta que, mientras más dispositivos de apertura y cierre que se coloque se tendrán un sistema cada vez más complejo, el cual necesitará más cálculos para su correcto funcionamiento, es decir, flujos de potencia y protecciones [4].

Se realiza un sistema mallado cuando se tiene una densidad de carga mayor a 20 MVA/Km<sup>2</sup> y existen muchos usuarios con demandas cercanas a los 200 KVA cada uno.

El costo de ejecutar dicha configuración hablando monetariamente es muy alto. Así para disminuir costos, no se lo realiza en todo el sistema de distribución si no donde la densidad de carga sea significativa, es decir, se diseña un sistema ligeramente mallado [5, p. 5].

Las ventajas que posee una red mallada son:

- Mejor uso de transformadores, esto incluye, aprovechamiento de su capacidad y cambio sin interrumpir el servicio de energía eléctrica debido a fallas gracias a su sistema de protección o mantenimiento de los elementos eléctricos.

- Disminución de flicker al momento de realizar arranques de motores pesados, es decir, que requieren gran potencia para ser energizados.
- Ayuda a la regulación de voltaje porque presente menor caída de tensión en lugares donde existen concentración de grandes cargas en los puntos de enlace. [5, p. 6]

Las ventajas que posee una red mallada son:

- Mejor uso de transformadores, esto incluye, aprovechamiento de su capacidad y cambio sin interrumpir el servicio de energía eléctrica debido a fallas gracias a su sistema de protección o mantenimiento de los elementos eléctricos.
- Reducción de pérdidas de potencia.
- Mejorar calidad de la energía. Disminución de flicker al momento de realizar arranques de motores pesados, es decir, que requieren gran potencia para ser energizados.
- Mejor flexibilidad para el crecimiento de carga.
- Mejora perfil de voltaje. Ayuda a la regulación de voltaje porque presente menor caída de tensión en lugares donde existen concentración de grandes cargas en los puntos de enlace [5, p. 6].

#### 1.3.4 Métodos para realización de mallado

Para conocer el funcionamiento de un sistema eléctrico se debe realizar cálculos matemáticos. Es así como para redes malladas se considera una red radial para facilitar cálculos, en donde se modifica la red ligeramente mallada mediante un algoritmo de ordenamiento de árbol: ruptura de lazos.[6]

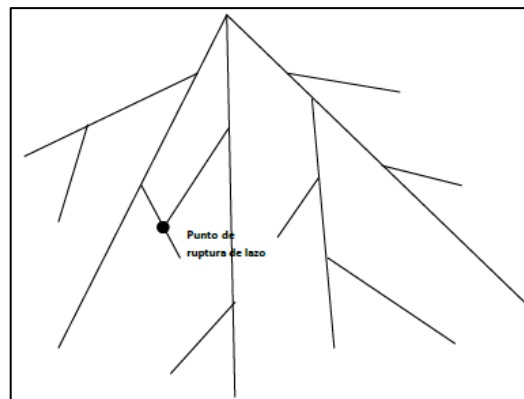


Figura 1.4 Red Ligeramente Mallada [4]

### 1.3.5 Método basado en compensación de lazos

El método de compensación de lazos inyecta corriente en el punto de ruptura para igualar las tensiones en las barras tanto en magnitud y ángulo.

Esto se lo realiza mediante el uso de la matriz de impedancias de Thévenin desde el punto de vista de los puntos de ruptura.

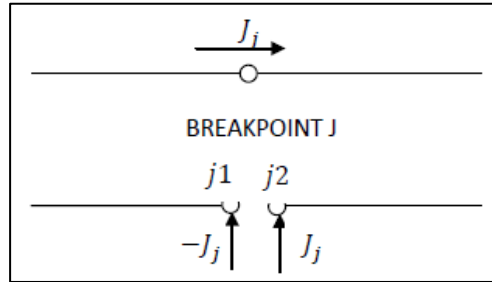


Figura 1.5 Inyección de corriente en el punto de ruptura [4]

La corriente que circula por dicho punto es  $J_j$ , al abrirlo tenemos dos puntos con sus respectivas corrientes  $J_{j1}$  e  $J_{j2}$ .

$$J_{j1}^k = -J_j^k \quad (1.1)$$

$$J_{j2}^k = -J_j^k \quad (1.2)$$

El teorema de Thévenin busca simplificar la red eléctrica haciendo un circuito equivalente que figura una fuente de voltaje con una resistencia en paralelo.

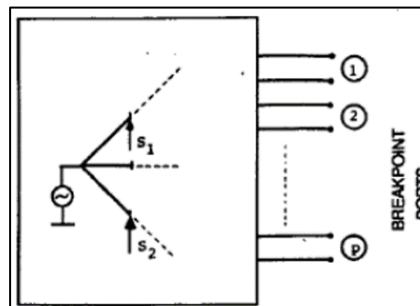


Figura 1.6 Equivalente de Thévenin [4]

Expresando la Figura 1.6 en ecuaciones y en forma matricial tenemos la Ley de Ohm:

$$V = Z * I \quad (1.3)$$

Mientras que en la representación matricial de la Ley de Ohm se tiene:

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_2 \\ \vdots \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1j} & \dots & Z_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{i1} & \dots & Z_{ij} & \dots & Z_{ip} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{p1} & \dots & Z_{pj} & \dots & Z_{pp} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \Delta J_1 \\ \vdots \\ \Delta J_2 \\ \vdots \\ \Delta J_3 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

La columna  $j$  de la matriz de impedancia tiene los valores de tensiones para  $J_j=1$  y  $J_i=0$ . Es decir, los elementos de la diagonal son iguales a la suma de las impedancias de los dos ramales del punto de ruptura, mientras que los elementos fuera de la diagonal  $Z_{ij}$  son la suma de las impedancias de los elementos comunes **entre los lazos  $i$  y  $j$** .

### 1.3.6 Método de compensación de barras PV

Este tipo de barras cuentan con valores de tensión y potencia activa determinados, por dicha razón se los toma como puntos de ruptura.

En este método se coloca una barra ficticia junto al generador, la cual tiene las mismas características que la barra de PV de la red, es decir, comparten los mismos voltajes y potencias activas.

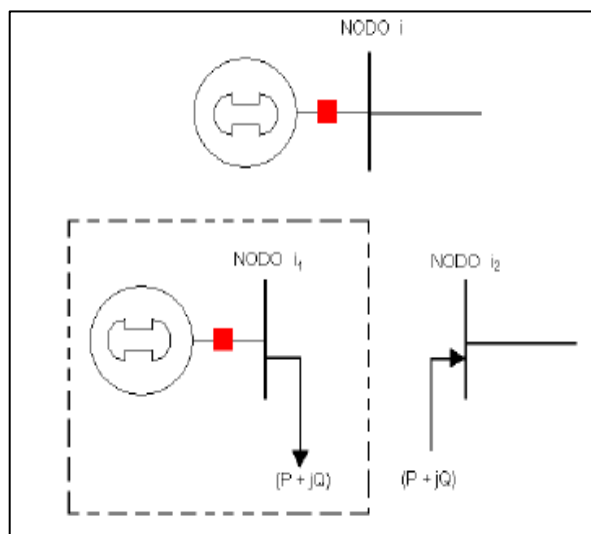


Figura 1.7 Barra PV con punto de ruptura [4]

Con esa separación se crea la necesidad de inyectar reactivos a la barra junto a la red, para mantener la magnitud de la tensión constante, mientras la otra barra queda como una barra de carga.

Para realizar dicha compensación se necesita la matriz de sensibilidad que son los elementos de la matriz de impedancia de Thévenin, vistos desde el punto de vista de las barras PV.

En el caso de que el generador trifásico cuenta con cargas desbalanceadas, se considera el promedio de las tensiones de fase:

$$V = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (1.5)$$

La corriente como es netamente reactiva estará adelantando con 90 al voltaje de barra.

Como es un método iterativo, se tiene que ir actualizando el valor de la corriente del generador con los pequeños cambios, realizando el procedimiento de barrido de corrientes:

$$I_i^{k+1} = I_i^k + \Delta I_i^k \quad (1.6)$$

Se calcula la potencia reactiva de compensación tomando en cuenta de que no se violen los límites de capacidad del generador, en el caso de ocurrir eso, se los reinicializa a su valor mínimo o máximo y de barra PV se transforma en barra de PQ.

### **1.3.7 Método Adaptativo**

Para análisis dinámico tenemos cálculos de flujo de potencia más robustos. El método adaptivo es una modificación del método de barrido de corrientes para aumentar la rapidez en la que converge el análisis dinámico.

Se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Si el error en los métodos de compensación ya sea de lazo o de barra PV, es menor a 10 veces la tolerancia de convergencia, se detiene las iteraciones de barrido.
- Cuando el error de tensión de lazo es 10 veces mayor al criterio de convergencia, se realiza una sola iteración en el punto de ruptura.
- Se calcula el error de las tensiones en las barras PV y las corrientes de compensación. Se vuelve a realizar todo el proceso hasta que se el método converja.

### 1.3.8 Estudio de mallado en Italia

De Italia se tomó una sección de la red de distribución en media tensión con topología radial para realizar simulaciones, en las cuales se implementa un mallado por etapas.

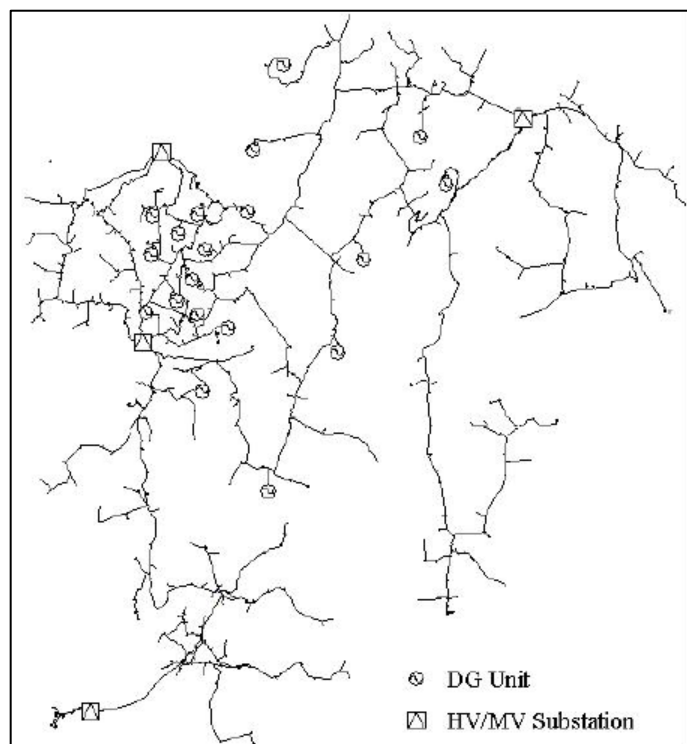


Figura 1.8 Pequeña porción de la red de distribución de Italia [7]

El sistema consta de cinco configuraciones de red con 8 alimentadores con generación distribuida. Las cuales poseen la siguiente jerarquía:

1. C0: Configuración radial (lazo abierto).
2. C1: Red de circuito cerrado. Se cierra sólo los anillos abiertos existentes.

3. C2: Primer nivel de malla. Se conecta dos lazos cerrados "adyacentes" en aproximadamente la mitad de su longitud (medios adyacentes que comparten las mismas subestaciones HV / MV).
4. C3: Segundo nivel de malla. Se usa un borde adicional para conectar dos lazos cerrados no adyacentes.
5. C4: Tercer nivel de malla. Se agrega nuevos bordes, que conectar los lazos cerrados adyacentes ubicados a un cuarto y tres cuartos de su superficie [7].

En la mayoría de los casos no se necesita colocar nuevas líneas porque ya existían líneas interconectadas, pero que trabajaban radialmente lo que hace que se requiera de pocas modificaciones.

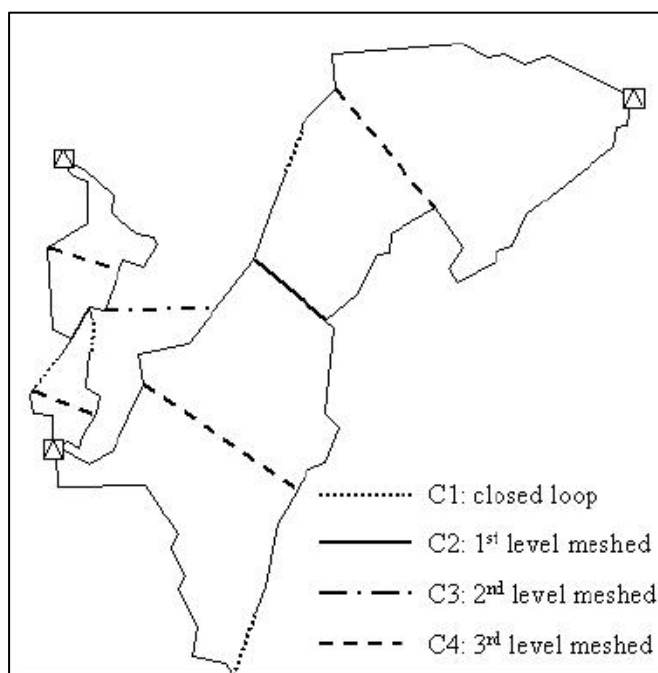


Figura 1.9 Configuraciones de mallado [7]

Los resultados de este mallado fueron que al cerrar los lazos abiertos de la red de distribución se obtiene la contribución más significativa, debido a que se muestra mejoraría en su funcionamiento. Al ir cerrando lazos en el circuito se aumenta la garantía del servicio debido a las rutas de suministro alternativas proporcionadas. Se ve notablemente beneficio tanto en reducción de pérdidas como de la disminución de la explotación de los equipos.

La corriente de cortocircuito aumenta proporcionalmente acorde al número de nodos que se incorporan al mallado. Cuando se supera la capacidad de los interruptores y se pierde la coordinación de las protecciones aumenta el riesgo de cortocircuito [7].

### **1.3.9 Elementos en Media Tensión**

Para los Elementos de las Redes en Media Tensión se tiene la siguiente lista, los cuales son considerados en base a la Red existente dentro del Campus.

#### *A. Poste*

Son elementos que forman parte de los tendidos eléctricos para la iluminación de las vías, calles, instituciones, parques o sitios que sean de mayor o menor actividad comercial.

[8] Existen distintos tipos de postes según la normativa y el tipo de estructura a ser utilizada como: Suspensión, Retención y Angular.

El poste de hormigón armado tiene una sección circular hueca en toda su composición ya que facilitara el paso de cables en su interior con una geometría Truncocónica, su acabado debe ser perfecto sin fisuras o desprendimiento de la materia prima que lo compone, consta de los siguientes parámetros:

- Conicidad constante de la base del poste hasta su punta con una relación R 20mm/m.
- Altura de 10m y 12m.
- Deben estar bajo normativa AST-39 con características granulométricas de agregado grueso, fino y curvas de análisis de resistencia de compensación de cilindros de hormigón.
- Flecha <4% altura útil.
- Deformación a 60% carga de rotura <5% Flecha máxima.
- Profundidad de empotramiento será décima parte de la altura del poste más 50cm.



Tomando en consideración todos estos tipos de parámetros se garantiza un poste totalmente aceptable para realizar su función.



Figura 1.10 Poste de Media Tensión ESPOL [7]

### *B. Transformador*

Máquina eléctrica que cumple la función de elevar o reducir el nivel de tensión dentro de una red de corriente alterna. El transformador ideal, no presenta pérdidas, esto quiere decir que, la potencia de entrada es igual a la de salida. Para mantener este valor, el efecto en la corriente es inverso, es decir, si el voltaje aumenta entonces la corriente disminuye y viceversa. La potencia de un transformador varía según su tamaño y diseño.

### *C. Acometida*

Es el elemento que se utiliza para la distribución y derivación de la energía eléctrica desde el centro de suministro hasta el medidor o elemento principal que tiene una instalación que puede ser de ámbito comercial, residencial o industrial, en el que se hará el uso correspondiente de energía eléctrica ya sean estos equipos de iluminación, maquinarias eléctricas, equipos de refrigeración, etc.

La acometida varía según su voltaje es decir si la forma de instalación puede darse de dos formas que son: Acometidas de media y de baja tensión con un voltaje de

(5KV - 40KV) y (127V - 550V) respectivamente. Según la forma pueden ser de dos alternativas:

#### *D. Aéreas*

Esto quiere decir cuando el cable se introduce por la parte superior de la instalación del usuario final.

Su tendido no tiene que obstaculizar el paso a las personas a su domicilio, ni el flujo peatonal, su altura no debe ser inferior a 5.5m, los cables no deben cruzar por los balcones ni ventanas de los domicilios, el conductor de la acometida no debe de presentar empalmes.

#### *E. Subterráneas*

Son aquellas en las cuales el cable se lo introduce por la parte interior o por debajo de la infraestructura del usuario final.

Cabe mencionar que si la acometida es aérea o subterránea deberá de contar con los elementos necesarios sean estos del lado del suministro como del consumidor final, ya que del lado de la empresa suministradora de energía es un poco más compleja porque se necesita punto de alimentación, ductos, tablero general de acometida, armario y puesta a tierra externa, mientras que del consumidor final solo se necesita interruptor principal y la puesta a tierra interna. [9]



Figura 1.11 Ejemplos entre Acometida Aérea y Acometida Subterránea [9]

### **1.3.10 Celdas de media tensión**

Es el conjunto de secciones verticales, en lo que se colocaran los equipos de maniobra, protección y control, ubicados en una estructura metálica con distintos compartimientos, que tiene como función general distribuir y recibir energía eléctrica.

Es el cuarto la cual consta de diversos compartimentos es decir un ramal auxiliar que sirve para dividir y expandir la distribución de energía.



Figura 1.12 Cuarto de Celdas [9]

Se componen de una serie de elementos para la distribución desde 630 A hasta 24kV, son de tipo modulares equipadas con las protecciones adecuadas y seccionamiento.

La cual aumenta el grado de fiabilidad y seguridad para el operador, para cuando necesite realizar alguna maniobra en el caso de los interbloques mecánicos que puedan existir.

#### ***F. Interruptor de Potencia***

Es aquel que se caracteriza por su capacidad de ruptura en gran proporción, es decir, este equipo puede permanecer conectado durante mucho tiempo (meses, semanas).

Es un elemento de maniobra, que opera con corrientes diferentes de cero. Su función principal es abrir el circuito en un tiempo determinado muy pequeño, siempre y cuando la intensidad de corriente es baja el disyuntor es capaz de soportarlo, pero si la temperatura se eleva existirán desgastes en los contactos.

Los más utilizados son: interruptor en vacío o interruptor con SF6.

#### *G. Reconectador*

Es un equipo con características electromecánicas, su función es interrumpir (abrir) en un determinado tiempo las sobre corrientes de un sistema, en presencia de fallas. Otra función aplicable es en el re cierre de forma automática cuando se vuelve a establecer el sistema.

Su función principal es abrir y cerrar un circuito, cabe mencionar que su secuencia operacional dispone de cuatro operaciones de apertura, más de eso, ocasionará un bloqueo total del equipo.

La secuencia operacional confirma la condición de falla en la línea, si ha terminado, y discernir fallas permanentes y temporales.

#### *H. Puesta a tierra*

Es una protección muy importante, la cual tiene como proceso llevara aquellas corrientes excesivas que pueden perjudicar los elementos adyacentes al sistema.

### **1.3.11 Protecciones para redes de distribución en media tensión**

Son dispositivos que protegen al circuito de sobrecargas de tensión y al operario de posibles accidentes.

#### *A. Tira-fusible*

Aquel elemento de la red eléctrica que posee un dispositivo de protección con operación unipolar cuando sienten la presencia de una sobrecorriente. Se caracterizan por tener un fusible en la parte interna totalmente calibrado. Si se

desea reestablecer el elemento se coloca un nuevo fusible y luego se pone en operación el sistema.

#### *B. Fusibles*

Actúan ante sobrecorrientes como respaldo, a partir de los seccionadores, que serán instaladas de en un punto fijo para que disperse el efecto Joule. Se funde a cierta temperatura producida por la presencia de alguna corriente alta para impedir que esta circula.

#### *C. Pararrayos*

Son elementos de protección que atraen a los rayos para que estos puedan redirigirse a la tierra y evitar que causen daños a los elementos del sistema, personas o construcciones.

#### *D. Relés*

Son equipos que sirven para almacenar mediciones periódicas y poder comparar con una referencia, su función es detectar las corrientes superiores a la permitida para poder dar la señal para que el relé opere, otra función es la protección de retorno de corriente ya que, si el equipo censa el cambio de dirección, emitirá automáticamente una señal para cortar el paso.

#### *E. Protección ANSI 50/51*

Denominada también como protección de sobre corriente, esta protección censa corrientes extremadamente altas, el cual tiene como función contar un cierto tiempo y luego enviar la señal de disparo para proteger su sistema. Está conformada por dos tipos de medición:

La protección 50, es instantánea en el momento que el relé censa el exceso de corriente esta la despeja de forma inmediata, emitiendo la señal de disparo lo más rápido ya que no tolera fallas. [10]

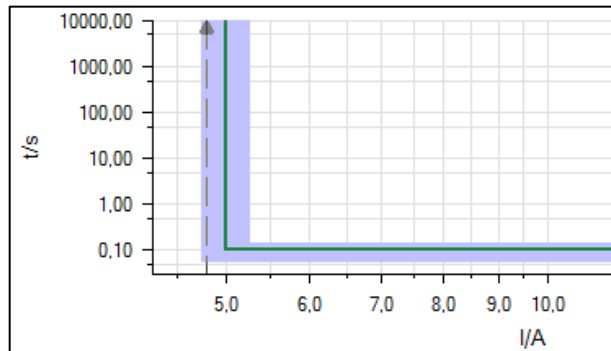


Figura 1.13 Curva de medición Instantánea del Relé 50 [11]

La protección 51, tolera fallas durante un tiempo determinado, que es seteado por el mismo relé, es decir, actuará en el tiempo de operación. Está regida por parámetros como:

- **Ip:** Corriente de enganche, actúa si la corriente vista por el relé es mayor que corriente de enganche comienza a contar para emitir la alarma y producir el disparo.
- **Td:** Dial de tiempo, factor referente a aceleración y frenado de la curva de operación.
- **Curva:** Se puede ajustar cambiando ciertos parámetros como dial de tiempo, corriente de enganche o ajustando la velocidad del disparo, ya que son curvas normalizadas. [11]

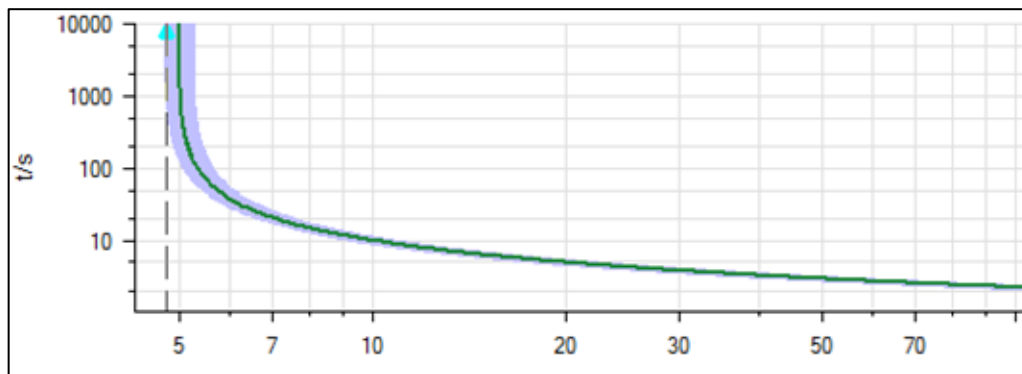


Figura 1.14 Curva de Tiempo Inverso (Relé 51) [10]

#### F. Protección DE VOLTAJE 27/59

Para análisis de flujo de voltaje con valores cercanos 0.95 de sensibilidad de voltaje es necesario la protección de voltaje 27/59.

Protección 27, relé de mínima tensión es aquel que se activa al disminuir la tensión o voltaje de un valor seteado.

Protección 59, relé de sobre tensión es aquel que se activa con un valor establecido de sobre voltaje. [13]

### **1.3.12 Infraestructura Subterránea**

Es una instalación eléctrica que se construye de acuerdo con las necesidades que el cliente final requiera o dependiendo a las condiciones de la carga. Es un sistema de distribución más costoso que el sistema de distribución aéreo convencional.

El sistema aéreo se vuelve más difícil de controlar en virtud de los transformadores y conductores de mayor tamaño que se necesitaran en el momento de la instalación, esto ocurre cuando aumentan las densidades de cargas, otra razón por la cual se implementa este tipo de diseño es la estética y perspectiva del lugar donde están ubicadas como por ejemplo las zonas comerciales céntricas y turísticas de la ciudad.

En la parte del mantenimiento de las redes subterráneas es un poco más complejo y difícil de manejar mientras se encuentra energizado, en el cual se deberá tomar medidas de prevención de riesgo contra las sobrecorrientes que se encuentran en el sistema. [14]



Figura 1.15 Instalaciones Subterráneas ESPOL [14]

Los aspectos importantes considerados en este diseño es la modernización de la infraestructura de redes convencionales, para obtener mayor confiabilidad,



seguridad e higiene en las instalaciones que ayudaran a reducir el impacto ambiental.

En la parte del mantenimiento de las redes subterráneas es un poco más complejo y difícil de manejar mientras se encuentra energizado, en el cual se deberá tomar medidas de prevención de riesgo contra las sobrecorrientes que se encuentran en el sistema.

#### *A. Zanjas De Media Tensión*

[16] Las zanjas son paredes verticales con acumulación de fragmentos de roca partida, variables importantes de este análisis está dada a la profundidad y condiciones del terreno, tomando en consideración el estudio de seguridad de la obra.

El estudio para obtener una zanja segura se basa en dos parámetros importantes que son:

- Profundidad de la zanja: Desde el último conductor a la superficie es de 1,20m y la distancia de conductor a conductor es de 20cm.
- Anchura de la zanja: Depende del número de conductores a instalarse en el sitio, teniendo en consideración la distancia entre ellos será de 20cm.



Figura 1.16: Construcción de una Zanja. [7]



## B. Cruces De Calzada

[16] Son los trazados que implican los cruces de calzadas de vías principales las cuales serán interrumpidas por de su actividad normal, durante un buen tiempo hasta que se lleve a cabo la finalización de la obra civil, la que se efectúa con prismas de hormigón, con tubos PVC de diámetro de 110mm, con el mismo criterio de la zanja (Profundidad y Anchura).



Figura 1.17: Construcción de Zanja cruzando la Calzada [9].

La instalación de los tubos por fase será a partir de 10cm del piso. Los cruzamientos y paralelismos de las redes subterráneas se rigen por distancia las cuales estarán dadas en la Tabla 1. Esto se debe que en los diseños subterráneos vamos a contar con varios servicios como gaseoductos, oleoductos, tuberías o cables de telecomunicación.

CRUZAMIENTOS	CONDICIONES
Con otros conductores subterráneos	La distancia entre cables mínimo será 50cm
Con cables de telecomunicaciones	La distancia entre cables mínimo será 50cm
Con canalizaciones de agua y gas	La distancia entre cables y tuberías será mínima 50cm
Gaseoductos / Oleoductos	Define específicamente la compañía distribuidora.
PARALELISMOS	CONDICIONES
Con otros conductores subterráneos	La distancia entre cables de MT y AT mínimo será de 25cm
Con cables de telecomunicaciones	La distancia entre cables mínimo será 50cm.
Con canalizaciones de agua y gas	La distancia entre cables y tuberías será mínima 50cm
Gaseoductos / Oleoductos	Define específicamente la compañía distribuidora.

Tabla 1.1 Condiciones de Cruzamientos y Paralelismos [16]

### *C. Emplazamientos, Empalmes Y Terminales*

Los tipos de empalmes se ejecutarán en la superficie donde los operarios se sientan cómodos y libres de realizar el trabajo designado. Existen tres clases de empalmes para media tensión según la continuidad eléctrica:

- Empalmes con líneas de cobre-cobre.
- Empalmes con líneas de aluminio-cobre.
- Empalmes con líneas de aluminio-aluminio.

Para la implementación de empalmes es indispensable contar con emplazamientos con las siguientes características que se observa en la Tabla 2:

Profundidad	160cm
Anchura	160cm
Longitud	200cm

Tabla 1.2 Parámetros de Emplazamientos [16]

### *D. Conductores De Media Tensión*

Los conductores que se utilizan para el diseño de media tensión están regidos por normativas, los que están comprendidos por aislamiento seco y protegidos contra agentes del terreno donde se instalarán.

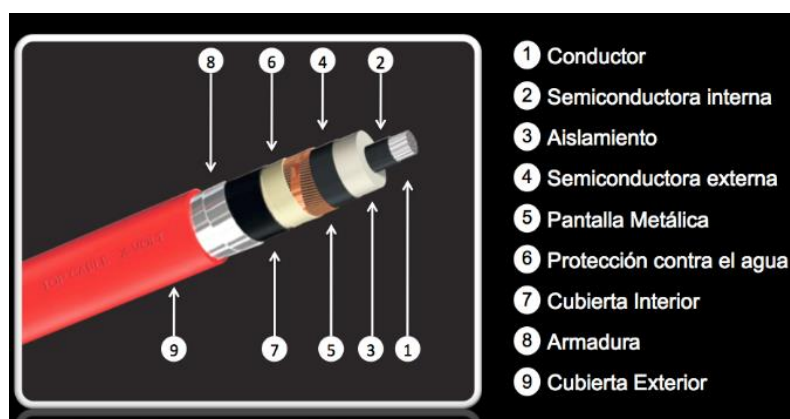


Figura 1.18: Composición de un Conductor de Media Tensión. [17]

## **Capítulo 2. Metodología**

---

## Capítulo 2. Metodología

---

2.1	Introducción.....	27
2.2	Características del sistema a modificar .....	27
2.3	Alternativas de Diseño para una Red Ligeramente Mallada .....	28
2.4	Diseño de alimentación mediante el uso de Reconectador y adaptación del transformador con Feed-thru Inserts. ....	29
2.4.1	Doble alimentación para transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real de 100KVA – Caso FIEC.....	31
2.4.2	Doble alimentación para el banco de transformadores de Servicios Informáticos de 300KVA – Caso FICT.....	31
2.5	Diseño de alimentación mediante el uso de Pad-mounted Gear .....	32
2.5.1	Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-02 – Caso FIEC. ....	34
2.5.2	Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-05 – Caso FICT.....	35
2.6	Componentes del diseño de doble cruceta.....	35
2.6.1	Cruceta y Ángulos .....	36
2.6.2	Fusibles .....	36
2.6.3	Aisladores Pin.....	37
2.7	Componentes de la Red Subterránea .....	37
2.7.1	Zanja de Media Tensión .....	38

## **2.1 Introducción**

El estudio previo a este proyecto integrador realizado en el segundo término del anterior año se lo toma como referencia para continuar con el rediseño eléctrico que se le desea aplicar a la red de distribución de ESPOL.

Con el anillo abierto propuesto se busca realizar un mallado ligero en las facultades de ingenierías, estas comprenden: FIEC y FICT. Añadiendo también al sector donde está localizado el Rectorado.

Para conocer cómo se formará la red se tiene dos métodos:

- Cálculo de optimización para redes de distribución.
- Método empírico que se basa en criterios dependientes de la topología de la red y conocimientos previos del ejecutado.

Se debe tener en cuenta que se trata de la modificación de la red actual que posee el Campus Prosperina, por ende, no se puede implementar cálculos de optimización debido a que podría presentarse el caso más óptimo en donde se debería crear desde cero el sistema ligeramente mallado, el cual no es conveniente económicamente, además de que se busca provocar la menor afectación posible.

Por dicha razón, se utiliza el criterio propio con el cual se analiza la ubicación y la conexión de las celdas de media tensión y cuartos de transformadores.

## **2.2 Características del sistema a modificar**

Para la modificación de red se toma en cuenta las celdas de media tensión y los transformadores de las instalaciones de la universidad.

De la celda de media tensión CM-02 localizada en FIEC, atrás del Edificio 15A se deriva tres cuartos de transformadores, el CT-23 ubicado en las oficinas de los profesores, el CT-22 situado en el laboratorio de electrónica y el CT-21 en los laboratorios de computación que a su vez va hasta el transformador trifásico que

alimenta todo el edificio 24A y al que está atrás del laboratorio de Simulación en Tiempo Real y alado de él un generador de emergencia.

De la celda de media tensión CM-05 localizada en FICT, alado de las aulas de Arqueología, se deriva cuatro cuartos de transformadores, el CT-30 ubicado en la parte posterior del comedor Go-Fresh, CT-31 en las aulas de Ciencias de la Tierra, el CT-32 en las aulas de Arqueología, el CT-33 en la parte posterior del Banco del Pacífico y el CT-34 en los laboratorios de la facultad.

### **2.3 Alternativas de Diseño para una Red Ligeramente Mallada**

Se selecciona dos lugares para la realización del mallado ligero que se le quiere aplicar a la red eléctrica de ESPOL.

La primera malla es en FIEC donde se desea agregar una acometida alimentada desde las aulas localizadas en el Básico proveniente del poste 352, el cual tiene dos alternativas:

- Enlazar el transformador de 100KVA que alimenta al Laboratorio de Simulación en Tiempo Real con un Reconectador en el alimentador del Básico.
- Enlazar el cuarto de celdas de media tensión CM-02 que alimenta a las instalaciones de FIEC con el alimentador proveniente del Básico mediante el uso de un Pad-mounted Gear con transferencia automática de fuente.

La segunda malla es en FICT donde se desea interconectar con el sector del Rectorado, el cual tiene dos alternativas:

- Enlazar con el banco de transformadores de 300KVA localizado en el cuarto de transformadores CT-17 en Servicios Informáticos con un Reconectador en el alimentador proveniente de FICT.
- Enlazar el cuarto de celdas de media tensión CM-05 que alimenta a las instalaciones de FICT desde la barra proveniente de CT-17 mediante el uso de un Pad-mounted Gear con transferencia automática de fuente.

## **2.4 Diseño de alimentación mediante el uso de Reconectador y adaptación del transformador con Feed-thru Inserts.**

Por lo general para realizar mallados en una red de distribución se instalan transformadores tipo malla el cual permita colocar dos entradas trifásicas y se pueda energizar desde otra alimentación en el caso de que haya algún tipo de falla. En el caso de los transformadores a analizar nos encontramos con los que son tipo radial, es decir, sólo cuenta con una entrada, entonces para evitar la compra de un nuevo transformador o el rediseño del existente, se utiliza un adaptador el cual convierte la única entrada en dos entradas, a este se lo conoce como Feed-thru Inserts el cual trabaja a 15kV y soporta 200A.



Figura 2.1 Feed-thru Inserts. [19]

Ahora que ya se tiene disponible dos entradas para el transformador, se toma la nueva entrada proveniente del otro lado de donde se desea alimentar en caso de falla y se le coloca un Reconectador el cual cuando no mida voltaje, automáticamente se cierra debido a que ve que no llega energización del lado ya existente. Para que el Reconectador pueda actuar se utiliza un controlador el cual va a darle orden de apertura o cierre. En este caso el equipo se lo configura para que esté normalmente abierto y cierre en caso de no sensor voltaje.



Figura 2.2 Reconectador ABB OVR-15. [20]

Las especificaciones del equipo están descritas en la siguiente tabla:

Marca	ABB
Frecuencia	60 Hz
Voltaje nominal	15kV
BIL	95kV
Corriente nominal	100 – 600A
Corriente nominal de interrupción	12.5kA

Tabla 2.1 Especificaciones del Reconectador. [20]

El problema de esto es que se está alimentando del circuito auxiliar mediante el cierre del Reconectador, pero del otro lado se comienza a energizar y hasta que el Reconectador vea voltaje y se mande abrir pasa un tiempo significativamente mayor en microsegundos provocando problemas de voltaje. En otras palabras, al momento de que ese lado llegue restaurarse la alimentación, existe el caso de que presente un cortocircuito debido a la diferencia de voltaje que se tendría en las dos entradas del transformador, ocasionado por la desigualdad de impedancia que se tenga en ambos lados.

Para proteger al equipo se usa los conectores codo fusible de 15kV a 200A para los unir las borneras del transformador con los conductores de media tensión.



Figura 2.3 Conector codo fusible. [19]

Pero se corre el riesgo de que se podría ocurrir un problema de que cuando se haga la transferencia de potencia y se vuelva a restaurar el circuito original, se deba de cambiar los fusibles. Para evitarse ese inconveniente se coloca seccionadores que impidan que ambos lados estén energizados, si se coloca los que son de tipo manual esto provocaría molestias ya que se tendría que dirigir un encargado de abrir y cerrar las cuchillas cada vez que se lo requiera. Pero al ser estos automáticos aumentan el costo del proyecto.



#### 2.4.1 Doble alimentación para transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real de 100KVA – Caso FIEC.

Este transformador está alimentado desde una barra ubicada en el cuarto de transformadores CT-21 que a su vez viene energizada del cuarto de celdas de media tensión CM-02, entonces para poder tener otra alimentación, se le coloca en sus borneras los Feed-thru Insertss. Esta segunda alimentación se toma de la acometida proveniente del poste 352 del Básico que se la conecta mediante un Reconector que está normalmente abierto, el cual solamente opera ante la ausencia de tensión o en caso de presentarse alguna falla.

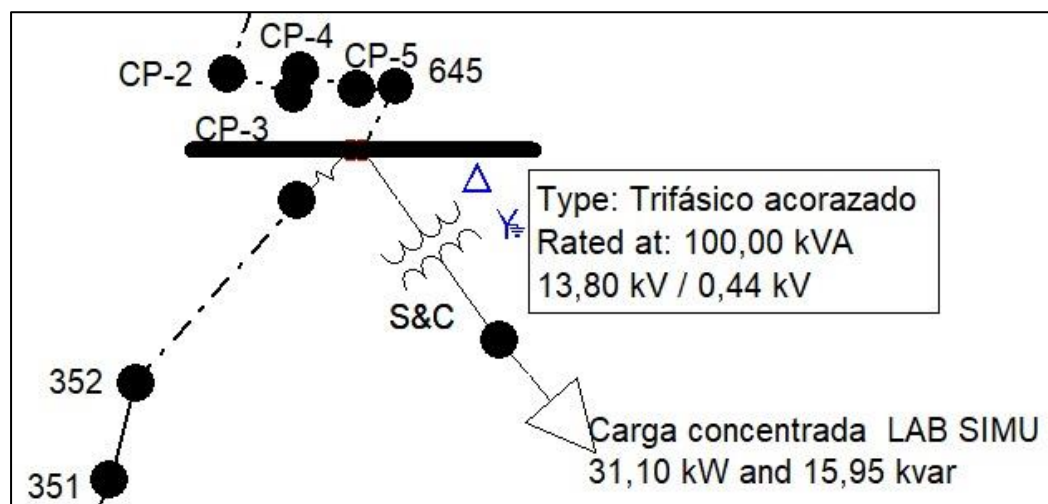


Figura 2.4 Alimentación de transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real – FIEC.

#### 2.4.2 Doble alimentación para el banco de transformadores de Servicios Informáticos de 300KVA – Caso FICT.

Este banco de transformadores está alimentado desde el cuarto de celdas de media tensión CM-01, entonces para poder tener otra alimentación, se le coloca los Feed-thru Insertss. Esta segunda alimentación se toma de la acometida proveniente del poste 324 de FICT que se la conecta mediante un Reconector que está normalmente abierto, el cual solamente opera ante la ausencia de tensión o en caso de presentarse alguna falla.

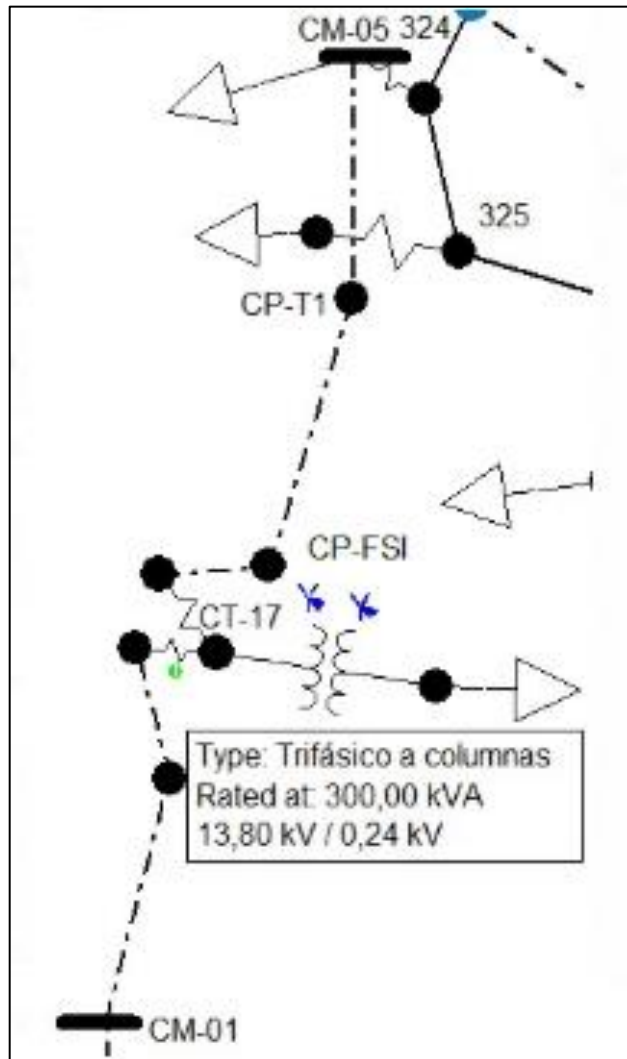


Figura 2.5 Alimentación de banco de transformadores CT-17 – FICT.

## 2.5 Diseño de alimentación mediante el uso de Pad-mounted Gear

Para la implementación del diseño mallado una buena alternativa es el uso de un Pad-mounted Gear para realizar el respectivo switcheo, la cual se está proponiendo como una de las opciones más viables y confiables para la modificación del sistema actual.

El objetivo principal del diseño es la transferencia de energía en caso de que hubiera una falla, es decir, el nuevo circuito permanecerá abierto y por medio del Pad-mounted Gear se realiza la transferencia automática al transformador con la finalidad de que no se queden sin suministro eléctrico.

Sus dimensiones son aproximadamente 1.57 metros de alto, 1.70 metros de ancho y 1.54 metros de profundidad.



Figura 2.6 Source-Transfer PMH-6 Pad-mounted Gear.[17]

Este equipo trabaja con un controlador que realiza transferencia de fuente, que consiste en tener un interruptor cerrado para su alimentación normal y uno abierto para su alimentación alternativa. Como este posee sensores colocados en el lado de las fuentes, cuando no sense tensión en su primera fuente inicia una conmutación automática durante un tiempo para revalidar que su pérdida no es transitoria. Al momento de que vuelva la tensión normal de su fuente primaria durante un tiempo establecido realiza un retorno automático.



Figura 2.7 Micro-AT Source Transfer Control. [18]

El PMH Pad-mounted Gear está aislado en aire y la configuración que se utiliza es de dos entradas y dos salidas, en este caso la conexión que se aplica sólo cuenta con una salida.

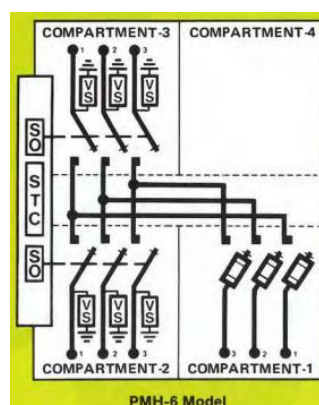


Figura 2.8 Diagrama de conexión del Pad-mounted Gear. [17]

Las especificaciones del equipo están descritas en la siguiente tabla:

Marca	S&C
Modelo	Source-transfer PMH-6
Frecuencia	60 Hz
Voltaje nominal	14.4Kv
Voltaje máximo	15.5kV
BIL	95kV
Corriente nominal ajustable por fabricante	100 – 700A
Corriente nominal de interrupción	12.5kA

Tabla 2.2 Especificaciones del Pad-mounted Gear

### 2.5.1 Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-02 – Caso FIEC.

Se coloca el Pad-mounted Gear alado de CM-02, atrás del Edificio 15A, el cual se le emplean dos entradas, la actual acometida del poste 310 (FIEC) y la nueva proveniente del poste 352 (Básico). El equipo se alimenta normalmente desde FIEC, pero en el caso de que los sensores de voltaje no detenten tensión, el Pad-mounted Gear realiza una transferencia automática con el alimentador del Básico.

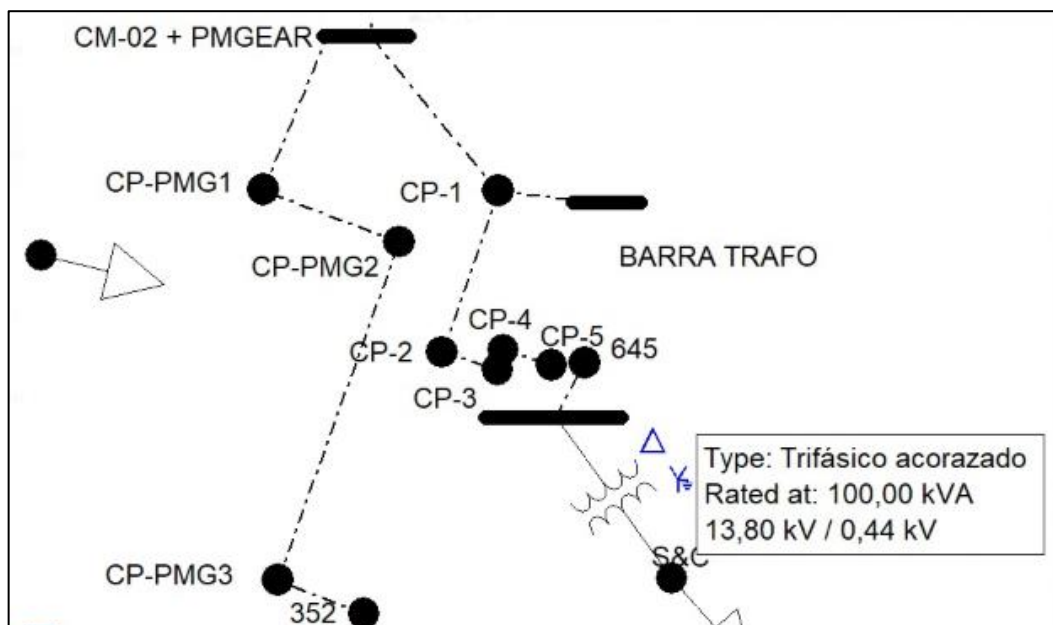


Figura 2.9 Alimentación de CM-02 – FIEC.

### 2.5.2 Doble alimentación para cuarto de celdas de media tensión CM-05 – Caso FICT.

Se coloca el Pad-mounted Gear alado de CM-05, alado de las aulas de Arqueología, el cual se le emplean dos entradas, la actual acometida del poste 324 (FICT) y la nueva proveniente de la barra de CT-17 de Servicios Informáticos. El equipo se alimenta normalmente desde FICT, pero en el caso de que los sensores de voltaje no detenten tensión, el Pad-mounted Gear realiza una transferencia automática con la barra ubicada de Servicios Informáticos.

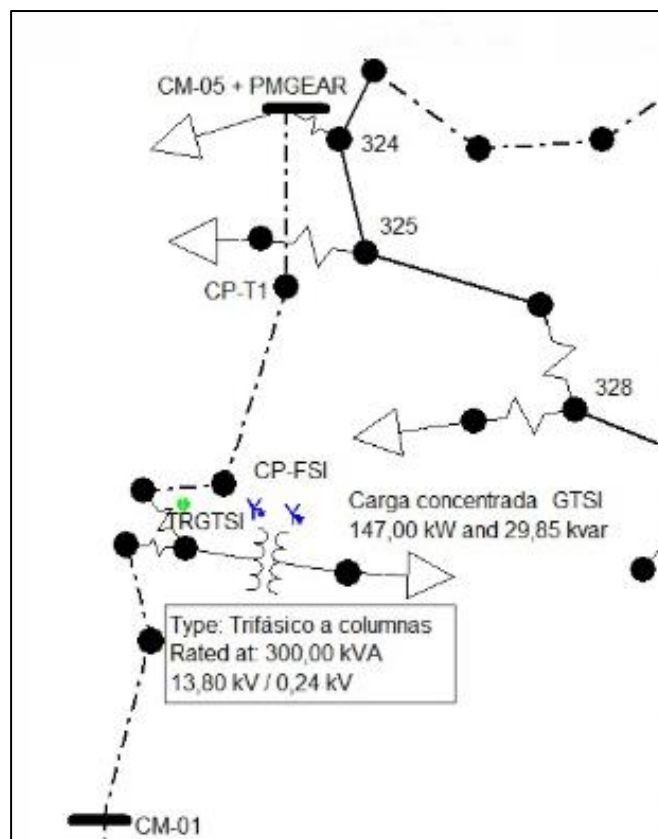


Figura 2.10 Alimentación de CM-05 – FICT.

### 2.6 Componentes del diseño de doble cruceta

Para ambas alternativas, ya sea implementando el uso de un Pad-mounted Gear o el de un Reconectador más la adaptación del transformador, se toma postes terminales y se les agrega otra cruceta para poder bajar de ahí la alimentación subterránea que funcione como alimentación alternativa en caso de fallas.

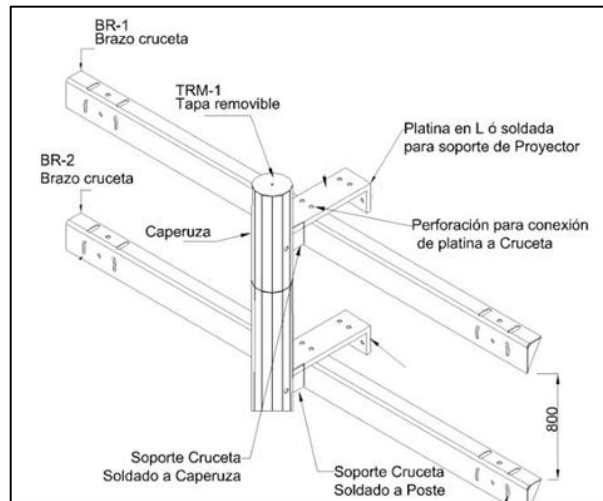


Figura 2.11 Implementación de doble cruceta.

Para realizar dicha modificación se cuenta con los siguientes elementos:

### 2.6.1 Cruceta y Ángulos

Crucetas cruceta rolliza metálica perfecta para colocar aisladores de redes eléctricas de distribución, función principal sostener los conductores.

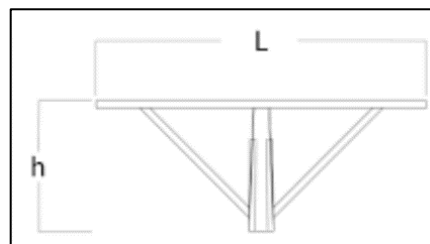


Figura 2.12 Cruceta con Ángulos

### 2.6.2 Fusibles

[22] Los fusibles cuentan con la capacidad de compensación completa para protección de circuito de transformador de media tensión. Se tienen las siguientes características:



Figura 2.13 Fusible de 15kV [22]

- Funcionamiento en frío, pérdida de vatios baja y poca disipación de energía gracias al efecto M, que asegura unos niveles elevados de uso de la subestación.
- Protección principal de transformador de media tensión.
- Protección de circuito de alimentación de media tensión.

### 2.6.3 Aisladores Pin

Para el diseño se utiliza un aislador tipo pin de 15kV máximos, de clase ANSI (C29.5-1984) 55-5, su material es porcelana con un proceso húmedo, cuenta con la norma de esmaltado ANSI 70, algunos parámetros destacados se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Variables Importantes del Aislador Pin ANSI 55-5	
Resistencia mecánica (kN)	13,4
Distancia de fuga (mm)	305
Distancia de arco (mm)	160
Altura mínima del espigo (mm)	152
Voltaje típico de aplicación (kV)	15
Tensión de flameo critico al impulso positivo (kV)	140
Tensión de flameo critico al impulso negativo (kV)	170

Tabla 2.3 Variables Importantes del Aislador Pin

A continuación, se muestra una ilustración del Aislador tipo Pin.



Figura 2.14 Aislador Pin de 15Kv.

## 2.7 Componentes de la Red Subterránea

Para la creación de un sistema de media tensión subterránea se debe de seguir ciertas normas y parámetros. La alimentación que llega a las máquinas es subterránea y consta de los siguientes componentes:

### **2.7.1 Zanja de Media Tensión**

La zanja de media tensión está diseñada, para trasladar el conductor o la acometida hasta el transformador se la desglosa de la siguiente forma:

#### *A. La separación de los ductos*

La separación de ductos mínima que deben tener tanto en dirección horizontal como vertical es de 5cm, se de forma autónoma del nivel de voltaje y el diámetro de la tubería de PVC y su distancia de recorrido entre cada separador es de 2.5m.

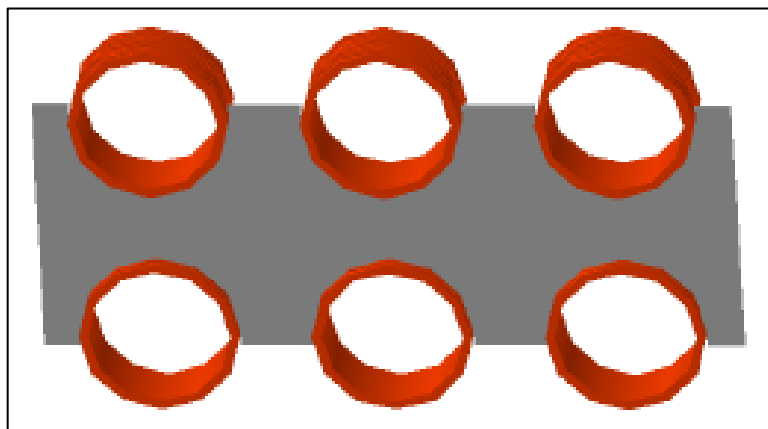


Figura 2.15 Separación y Material de ductos Eléctricos (referencia manual de construcción-redes subterráneas) [23]

#### *B. Material de Relleno de los ductos*

El material de que se instala como relleno será arena y hormigón de 140 kg/cm<sup>2</sup>, si en el caso se requiera una resistencia mecánica mucho mayor.

Se observa que el tipo de suelo es regular y uniforme, por ende, el relleno de los ductos puede ser de hormigón o de arena, para poder colocar la primera fila de ductos, la que con una capa de ripio o arena de 5 cm que dependerá mucho de su relleno.

Si se rellena con arena se toma en cuenta la primera fila de ductos, ya que el siguiente paso sería colocar un separador de tubería seguido de una capa de arena de 5 cm, recordando que la última capa es de 10 cm sobre el ultimo ducto. Si el relleno es hormigón se debe realizar por encima de la última tubería hasta una altura de 10 cm con sus respectivos separadores.



Para ambos casos después de haber colocado la última capa de relleno de 10 cm, se tiene una capa de compacto manual de 20 cm de piedra, seguido de una capa de compacto mecánico de 10 cm de ripio o arena y las paredes de los ductos a las zanjas serán de 10 cm.

### *C. Profundidad*

La profundidad se toma dependiendo a la localización de la zanja, nuestro caso de estudio es un lugar no transitado por vehículos con una profundidad de 0.6 m como mínimo.

### *D. Ancho de la zanja*

El ancho de ésta debe ser tal, que permita colocar la plantilla, hacer el acoplamiento sin dificultad y compactar el relleno.

$$Bd = N * D + (N - 1) * e + 2x \quad (2.1)$$

**Donde:**

**Bd:** Ancho de la zanja.

**N:** Número de tubos (vías) en sentido horizontal.

**D:** Diámetro exterior del tubo.

**e:** Espacio entre tubos (Mínimo 5 cm).

**x:** Distancia entre la tubería y la pared de la zanja. (Mínimo 10 cm)

Entonces los valores establecidos son:

**N:** 10 tubos.

**D:** 4 inch que equivalen a 0.1016 m.

**e:** 5 cm que equivalen a 0.45 m.

**x:** 10 cm que equivalen a 0.1 m.

$$Bd = 10 * 0.1016 + (10 - 1) * 0.05 + 2(0.1) \quad (2.2)$$

$$Bd = 1.666 \text{ m} \rightarrow Bd = 2 \text{ m} \quad (2.3)$$

*E. Tipo de ducto:*

Los tubos que se utilizaran son PVC de pared estructurada e interior liso tipo B, con diámetro de 110mm, para redes de media tensión según la Norma NTE INEN2227 y NTE INEN 1869.

Los accesorios como anillos de goma, tapones y pegamento se utilizan únicamente los que cumplan con el sello de calidad INEN.

El ducto es de color naranja, hay que tomar en consideración de no exceder la sección transversal interior en el 40% de la sumatoria del área transversal de los conductores según las normas del NEC 354-5.

<b>CALIBRE DEL CONDUCTO (AWG ó kcmil)</b>	<b>TENSIÓN (KV)</b>	<b>DIÁMETRO DEL DUCTO (mm)</b>	<b>TRANSICIÓN DEL DUCTO (mm)</b>
1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350, 500	35	160	160
2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0, 250, 300, 350	15-25	110	110
500	15-25	160	160
4, 2, 1/0, 2/0, 3/0, 4/0	0.6	110	110
6, 4, 2, 1/0	0.6 (Alumbrado Público y Acometidas)	50	50

Tabla 2.4 Ductos y Tuberías Metálicas para emplear en canalizaciones y transiciones

Las tapas están construidas con un marco y brocal metálico con 110 grados de abertura correspondientemente, el brocal metálico tiene las dimensiones de espesor de 4mm y 50mm de base por 75mm de alto.

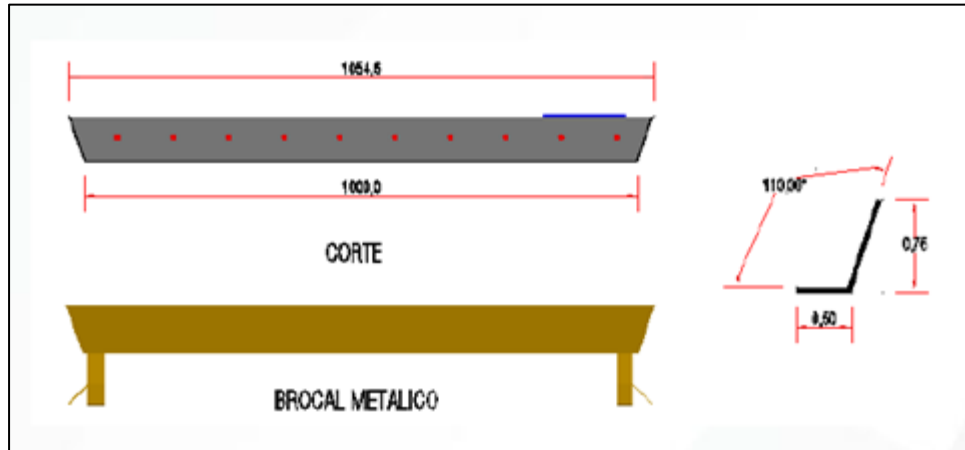


Figura 2.16 Dimensionamiento de la tapa de cajas de paso [23]

El espesor en vereda será de 70mm, con una armadura de  $\varnothing=12\text{mm}$  cada 100mm y una resistencia de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

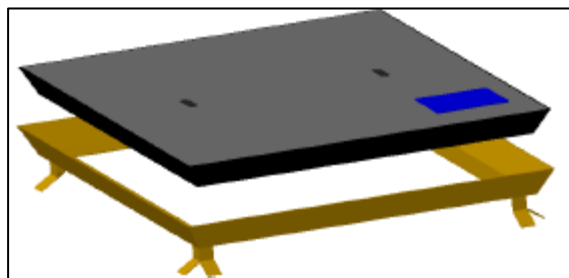


Figura 2.17 Tapa tipo B [23]

La tapa deberá de contar con un recubrimiento especial con pintura corrosiva, como mínimo dos capas para evitar filtración y maltrato de elemento de protección, también tiene como objeto que el brocal se empotre perfectamente en los anclajes colocados en la caja de paso.

La tapa debe de tener siglas de la empresa distribuidora de energía, el nivel de tensión involucrado en el sistema de diseño, numeración de la tapa, año de fabricación.

#### *F. Pozos o Cajas de Paso.*

Las cajas de paso o pozos se utilizan en cambios de direcciones, o tramos rectos extensos de la ruta del circuito de interconexión, que tienen forma cuadrada.

El diseño de la distancia de las cajas de paso esta entre los 30m y 60m entre caja y caja.

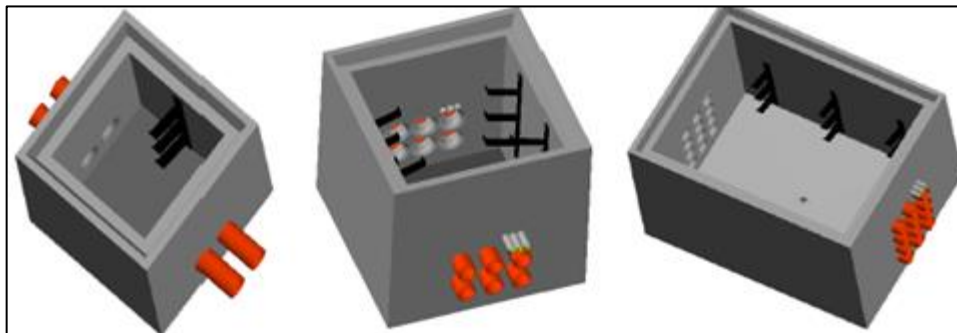


Figura 2.18 Caja de paso para Redes Subterráneas. [23]

Las cajas están construidas con paredes de mortero armado pesado de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, la pared tiene un espesor como mínimo de 12cm.

La tapa de caja de paso está compuesta por un marco y brocal metálico con un espesor de 70mm.

Las dimensiones de la caja que se utiliza son de categoría B para medio voltaje con las siguientes especificaciones:

TIPO	LARGO (m)	ANCHO (m)	PROFUNDIDAD (m)	APLICACIÓN
TIPO A	0.60	0.60	0.75	AP- ACOMETIDA
<b>TIPO B</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>MV – BV – AP</b>
TIPO C	1.20	1.20	1.20	MV – BV – AP
TIPO D	1.60	1.20	1.50	MV – BV – AP
TIPO E	2.50	2.00	2.00	MV – BV – AP

Tabla 2.5 Dimensiones de las Cajas de Paso según el tipo.

#### G. ACOMETIDA:

La implementación de la acometida subterránea es el siguiente paso para el sistema de distribución subterráneo aplicado en el que se detalla un parámetro importante que es el conductor que se utiliza para la transferencia de energía es #2 AWG de 15kV para líneas subterráneas que baja de mi poste con doble cruceta implementado, por una tubería metálica galvanizada siendo este un camino aéreo que se convierte en subterráneo, desde el momento que baja por una caja de revisión metálica, que se ubicará en un tramo de 90° hasta llegar al sitio de medición.



Figura 2.19 Poste con acometida Subterránea.

La acometida debe estar compuesta por los siguientes puntos:

- Punto de alimentación.
- Protecciones y Seccionamientos.
- Conjunto de Conductores.
- Canalización en ducto instalación aérea.
- Postes o Cajas de Inspección.
- Herrajes y Accesorios.

La acometida de media tensión en una red subterránea es necesario reservar una distancia mínima de vuelta en las cajas para el conductor aislado.

Se realiza un estudio de ferorrresonancia (Fenómeno por sobrevoltajes irregulares en forma de onda, el que está asociado con la excitación de una o más inductancias saturables a través de una capacitancia en serie esta dado en la norma ANSI / IEEE Std 100-184) para poder determinar longitudes críticas, en este caso se determinó que no tiene problemas de ferorrresonancia ya que la relación de ( $X_c/X_m$ ) es muy elevada.

La bajante de la acometida aérea se la realiza por medio de un tubo metálico galvanizado el que no debe ser mayor de tres metros, debe contar con un capacete en la parte superior como mínimo tres amarres de 5/8 inch.



Figura 2.20 Tubería Metálica Galvanizada para trasladar acometida aérea a subterránea. [24]

Los parámetros indispensables para seleccionar un buen conductor son los siguientes:

- Capacidad de transportar la corriente es indispensable.
- Caída de voltaje dentro de sus términos extremos establecidos.
- Perfecta resistencia mecánica.
- Comportamiento ambiental en donde se coloca el conductor. El conductor #2 AWG de 15kV a una temperatura de 90°C, debe cumplir normas que se encuentran dentro del Código Eléctrico Nacional, en la que se considera número de conductores que se encuentran activos dentro de una misma canalización, temperatura ambiente y capacidad nominal del conductor.

Según el INEN todo conductor debe ser homologado por estas normas, en el que se tiene se detalla por sobre todo el aislamiento o la cobertura exterior del mismo y eso se establece por tipo de conductor, voltaje de servicio y sección del conductor.

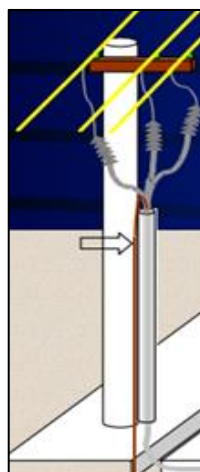


Figura 2.21 Diagrama de Acometida Subterránea por medio del Tubo Galvanizado.

Para acometidas subterráneas provenientes de un poste del sistema de distribución aérea, que se construye una caja de revisión al pie del poste de arranque de la acometida y las que sean necesarias hasta ubicarse frente.

Terminada la estructura de doble cruceta se prosigue a bajar la acometida de 15kV con un conductor #2 AWG para líneas subterráneas, pero antes se debe construir un ducto o una zanja de media tensión.





## **Capítulo 3. Resultados**

---

## Capítulo 3. Resultados

---

3.1	Introducción.....	49
3.2	Análisis técnico .....	49
3.2.1	Análisis del Flujo de Potencia .....	49
3.2.2	Análisis de Cortocircuito .....	60
3.2.3	Cálculo de la coordinación de las protecciones Reconectador-fusible en los casos FIEC y FICT .....	61
3.2.4	Cálculo de la coordinación de protecciones del Pad-mounted Gear para los casos FIEC y FICT .....	64
3.3	Análisis económico.....	66
3.3.1	Presupuesto de Construcción y mano de obra.....	66

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se analiza los resultados de los dos escenarios propuestos tanto para FIEC y FICT, es decir, el caso en que usamos el diseño de doble alimentación para el transformador de Laboratorio de Simulación en Tiempo Real de 100KVA de FIEC y para el banco de transformadores de Servicios Informáticos de 300KVA de FICT; y el caso en doble alimentación para el cuarto de celdas de media tensión CM-02 de FIEC y para el cuarto de celdas de media tensión CM-05 de FICT.

Los resultados técnicos obtenidos presentan el comportamiento de la red en condiciones normales y cuando se produce alguna falla, se muestra la respuesta del sistema al realizar la respectiva transferencia de energía.

Los resultados económicos obtenidos presentan los costos de ambas alternativas, mostrando así las cotizaciones de los elementos provenientes de cotizaciones realizadas a proveedores, obra civil y mano de obra.

### **3.2 Análisis técnico**

Se realiza el análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones para conocer el comportamiento de la red mallada propuesta, esto abarca el análisis de flujo de potencia en condiciones normales y en caso de una falla en alguno de los tramos, caída de voltaje, pérdidas de potencia activa y factor de potencia.

#### **3.2.1 Análisis del Flujo de Potencia**

Ambas simulaciones proveen valores muy similares de corrientes debido a que los equipos se portan como un intermediario ya sea estando conectados a sus fuentes de alimentación normales o a las alternativas, es decir, no afecta mucho la ubicación del equipo porque las acometidas son las mismas.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP(%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	4376,73	1686,86	4690,55	93,31
<b>Producción total</b>	<b>4376,73</b>	<b>1686,86</b>	<b>4690,55</b>	<b>93,31</b>
Carga leída (no regulada)	4319,95	1932,88	4732,65	91,28
Carga utilizada (regulada)	4319,65	1931,9	4731,98	91,29
Condensadores shunt (regulados)	0	-284,67	284,67	0
Reactancias shunt(reguladas)	0	0	0	0
Motores	0	0	0	0
<b>Cargas totales</b>	<b>4319,65</b>	<b>1647,23</b>	<b>4623,07</b>	<b>93,44</b>
Capacitancia del cable	0	-20,2	20,2	0
Capacitancia de la línea	0	-4,17	4,17	0
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0</b>	<b>-24,38</b>	<b>24,38</b>	<b>0</b>
Pérdidas en las líneas	50,95	55,94	75,67	67,34
Pérdidas en los cables	3,99	2,66	4,79	83,22
Pérdidas de carga del transformador	1,27	5,41	5,56	22,79
Pérdidas en vacío del transformador	0,62	0	0,62	100
Pérdidas en el condensador shunt	0,24	0	0,24	100
<b>Pérdidas totales</b>	<b>57,07</b>	<b>64,01</b>	<b>85,76</b>	<b>66,55</b>

Tabla 3.1 Resumen de flujo de potencia.

En la tabla anterior se detalla las potencias activas, reactivas, aparentes y los valores de factor de potencia en producción, cargas y pérdidas individuales y totales.

Se puede observar que el sistema eléctrico de distribución no presenta problemas de factor de potencia, pero si está cerca del límite que es 0.92. La producción y la carga van de la mano así que en otras palabras está dando lo que debería recibir de alimentación. Las pérdidas son bajas y esto da buena señal de que el circuito está funcionando de tal manera que se disminuyen las pérdidas.

Para la solución del flujo de potencia, se obtuvieron los voltajes en cada nodo, los cuales son representados de forma física por los postes y cajas de paso que se muestran instaladas en el plano de planta, y así mismo, en la red construida en el software de simulación.

A continuación, se mostrarán 5 tablas, las cuales representan, en partes, los voltajes en cada nodo, tal y como se muestra:

Nombre nodo	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	VA (pu)	VB (pu)	VC (pu)
51 SUBESTACION	7,817	7,816	7,817	0,981	0,981	0,981
LLEGADA	7,817	7,816	7,817	0,981	0,981	0,981
51 SUBESTACIÓN	7,816	7,816	7,817	0,981	0,981	0,981
50 SUBESTACION	7,813	7,813	7,814	0,981	0,981	0,981
49 SUBESTACION	7,81	7,81	7,81	0,98	0,98	0,98
48 SUBESTACION	7,807	7,807	7,807	0,98	0,98	0,98
47 ADMISIONES	7,804	7,803	7,804	0,979	0,979	0,98
46 ADMISIONES	7,801	7,8	7,801	0,979	0,979	0,979
45 VIA A SUBESTACION	7,798	7,797	7,798	0,979	0,979	0,979
44 CARRETERA	7,795	7,794	7,795	0,978	0,978	0,978
43 CARRETERA	7,791	7,791	7,792	0,978	0,978	0,978
42 CARRETERA	7,788	7,787	7,788	0,978	0,977	0,978
41 UPC	7,785	7,784	7,785	0,977	0,977	0,977
40 UPC	7,782	7,781	7,782	0,977	0,977	0,977
39 PETROECUADOR	7,779	7,778	7,779	0,976	0,976	0,976
38 PETROECUADOR	7,776	7,774	7,776	0,976	0,976	0,976
37 BICIESPOL (76)	7,773	7,771	7,773	0,976	0,975	0,976
36 COPOL	7,77	7,768	7,77	0,975	0,975	0,975
35 COPOL (78)	7,767	7,765	7,767	0,975	0,975	0,975
34 CONDUESPOL	7,764	7,762	7,764	0,974	0,974	0,974
33 CONDUESPOL (79)	7,761	7,759	7,761	0,974	0,974	0,974
124	7,761	7,759	7,761	0,974	0,974	0,974
32 CONDUESPOL	7,758	7,757	7,758	0,974	0,974	0,974
31 CONDUESPOL (80)	7,756	7,754	7,755	0,973	0,973	0,973
30 TECNOLOGIAS	7,753	7,752	7,753	0,973	0,973	0,973
29 TECNOLOGIAS (82)	7,751	7,75	7,751	0,973	0,973	0,973
28 TECNOLOGIAS	7,749	7,748	7,749	0,973	0,972	0,973
27 TECNOLOGIAS	7,748	7,746	7,747	0,972	0,972	0,972
26 TECNOLOGIAS	7,746	7,744	7,745	0,972	0,972	0,972
25 TECNOLOGIAS	7,744	7,743	7,743	0,972	0,972	0,972
24 PROTEL	7,743	7,741	7,742	0,972	0,972	0,972
23 PROTEL	7,741	7,739	7,74	0,972	0,971	0,971
22 PROTEL	7,739	7,738	7,738	0,971	0,971	0,971
21 PROTEL	7,738	7,736	7,736	0,971	0,971	0,971
20 ESPOLTEL	7,736	7,734	7,735	0,971	0,971	0,971
19 ESPOLTEL	7,734	7,733	7,733	0,971	0,971	0,971
20	7,734	7,733	7,733	0,971	0,971	0,971
18 CARRETERA	7,733	7,731	7,731	0,971	0,97	0,97
17 CAPILLA	7,731	7,73	7,729	0,97	0,97	0,97
16 CAPILLA	7,729	7,728	7,728	0,97	0,97	0,97

Tabla 3.2 Voltaje en los nodos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 1.

En la presente tabla, se observa que los voltajes están en el rango permitido.

Nombre nodo	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	VA (pu)	VB (pu)	VC (pu)
15 CAPILLA	7,728	7,726	7,726	0,97	0,97	0,97
14 EDCOM - CAPILLA	7,726	7,725	7,724	0,97	0,97	0,969
13 EDCOM - CAPILLA	7,724	7,723	7,722	0,969	0,969	0,969
12 EDCOM - CAPILLA	7,723	7,721	7,721	0,969	0,969	0,969
11 VIA EDCOM- CAPILLA	7,721	7,72	7,719	0,969	0,969	0,969
10 EDCOM	7,719	7,718	7,717	0,969	0,969	0,969
9 EDCOM	7,718	7,716	7,715	0,969	0,968	0,968
8 EDCOM	7,716	7,715	7,714	0,968	0,968	0,968
7 EDCOM	7,714	7,713	7,712	0,968	0,968	0,968
6 EDCOM	7,713	7,711	7,71	0,968	0,968	0,968
5 EDCOM	7,711	7,71	7,708	0,968	0,968	0,967
4 EDCOM	7,71	7,709	7,707	0,968	0,968	0,967
3 EDCOM	7,709	7,708	7,706	0,968	0,967	0,967
2 EDCOM	7,708	7,707	7,705	0,967	0,967	0,967
1 EDCOM	7,707	7,706	7,704	0,967	0,967	0,967
167	7,706	7,705	7,703	0,967	0,967	0,967
166	7,706	7,705	7,703	0,967	0,967	0,967
168	7,704	7,703	7,701	0,967	0,967	0,967
169	7,703	7,702	7,7	0,967	0,967	0,966
170	7,702	7,701	7,699	0,967	0,967	0,966
171	7,701	7,7	7,697	0,967	0,966	0,966
177	7,7	7,699	7,696	0,966	0,966	0,966
323	7,699	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
321	7,699	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
113	7,699	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
316.1	7,699	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
316	7,698	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
111	7,698	7,698	7,695	0,966	0,966	0,966
324	7,699	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
CM-05 + PMGEAR	7,699	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
CP-T1	7,699	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
CP-FSI	7,699	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
21	7,699	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
125	0,132	0,132	0,132	0,953	0,953	0,953
325	7,698	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
120	7,698	7,697	7,694	0,966	0,966	0,966
325.1	7,698	7,696	7,693	0,966	0,966	0,966
328	7,697	7,696	7,692	0,966	0,966	0,965
10	7,697	7,696	7,692	0,966	0,966	0,965
329	7,697	7,695	7,692	0,966	0,966	0,965
66	7,697	7,695	7,692	0,966	0,966	0,965

Tabla 3.3 Voltaje en los nodos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 2.

En la presente tabla, se observa que los voltajes están en el rango permitido.

Nombre nodo	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	VA (pu)	VB (pu)	VC (pu)
330	7,697	7,695	7,691	0,966	0,966	0,965
71	7,697	7,695	7,691	0,966	0,966	0,965
115	7,706	7,705	7,703	0,967	0,967	0,967
68	7,817	7,816	7,817	0,981	0,981	0,981
CAJA12	7,815	7,815	7,816	0,981	0,981	0,981
CAJA11	7,815	7,815	7,815	0,981	0,981	0,981
CAJA10	7,814	7,814	7,815	0,981	0,981	0,981
CAJA9	7,813	7,814	7,814	0,981	0,981	0,981
CAJA8	7,813	7,813	7,813	0,981	0,981	0,981
CAJA3	7,808	7,809	7,809	0,98	0,98	0,98
CAJA2	7,807	7,808	7,808	0,98	0,98	0,98
CAJA 1	7,806	7,807	7,807	0,98	0,98	0,98
75	7,804	7,806	7,805	0,98	0,98	0,98
67	7,804	7,806	7,805	0,98	0,98	0,98
27	7,803	7,804	7,803	0,979	0,979	0,979
27.1	7,796	7,797	7,797	0,978	0,979	0,979
27.2	7,786	7,788	7,787	0,977	0,977	0,977
30	7,777	7,778	7,778	0,976	0,976	0,976
30.1	7,77	7,772	7,771	0,975	0,975	0,975
32	7,762	7,764	7,763	0,974	0,975	0,974
2	7,762	7,764	7,763	0,974	0,975	0,974
33	7,755	7,757	7,756	0,973	0,974	0,973
34	7,745	7,747	7,746	0,972	0,972	0,972
74	7,745	7,747	7,746	0,972	0,972	0,972
34.1	7,735	7,738	7,736	0,971	0,971	0,971
34.2	7,727	7,73	7,728	0,97	0,97	0,97
34.3	7,719	7,722	7,72	0,969	0,969	0,969
38	7,708	7,711	7,709	0,967	0,968	0,968
248	7,706	7,709	7,707	0,967	0,968	0,967
280	7,703	7,707	7,705	0,967	0,967	0,967
280.1	7,7	7,704	7,702	0,966	0,967	0,967
282	7,697	7,701	7,698	0,966	0,967	0,966
282.1	7,695	7,699	7,697	0,966	0,966	0,966
282.2	7,693	7,697	7,695	0,966	0,966	0,966
282.3	7,691	7,695	7,692	0,965	0,966	0,965
282.4	7,689	7,694	7,691	0,965	0,966	0,965
287	7,687	7,692	7,689	0,965	0,965	0,965
287.1	7,685	7,69	7,687	0,965	0,965	0,965
101	7,685	7,69	7,687	0,965	0,965	0,965
289	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
289.1	7,682	7,687	7,683	0,964	0,965	0,964

Tabla 3.4 Voltaje en los nodos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 3.

En la presente tabla, se observa que los voltajes están en el rango permitido.

Nombre nodo	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	VA (pu)	VB (pu)	VC (pu)
289.2	7,679	7,684	7,68	0,964	0,964	0,964
292	7,677	7,682	7,678	0,964	0,964	0,964
292.1	7,675	7,68	7,676	0,963	0,964	0,963
294	7,673	7,679	7,674	0,963	0,964	0,963
294.1	7,671	7,677	7,673	0,963	0,964	0,963
294.2	7,669	7,676	7,671	0,963	0,963	0,963
294.3	7,668	7,675	7,67	0,962	0,963	0,963
294.4	7,666	7,673	7,668	0,962	0,963	0,962
294.5	7,664	7,671	7,666	0,962	0,963	0,962
300	7,662	7,67	7,665	0,962	0,963	0,962
301	7,661	7,669	7,664	0,961	0,962	0,962
95	7,661	7,669	7,664	0,961	0,962	0,962
301.1	7,655	7,663	7,658	0,961	0,962	0,961
301.2	7,654	7,662	7,657	0,961	0,962	0,961
307	7,653	7,661	7,656	0,96	0,962	0,961
97	7,653	7,661	7,656	0,96	0,962	0,961
308	7,651	7,659	7,654	0,96	0,961	0,961
309	7,65	7,658	7,653	0,96	0,961	0,961
99	7,65	7,658	7,653	0,96	0,961	0,961
310	7,648	7,657	7,651	0,96	0,961	0,96
105	7,648	7,657	7,651	0,96	0,961	0,96
103	7,648	7,657	7,651	0,96	0,961	0,96
311	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
107	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
311.1	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
313	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
109	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
313.1	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
313.2	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
358	7,648	7,657	7,651	0,96	0,961	0,96
CM-02 + PMGEAR	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
CP-1	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
BARRA TRAFO	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
CP-2	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
CP-3	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
CP-4	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
CP-5	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
645	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
S&C	7,648	7,656	7,651	0,96	0,961	0,96
48	0,241	0,24	0,242	0,949	0,944	0,951

Tabla 3.5 Voltaje en los nodos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 4.

En la presente tabla, se observa que los voltajes están en el rango permitido.



Nombre nodo	VA (kVLN)	VB (kVLN)	VC (kVLN)	VA (pu)	VB (pu)	VC (pu)
93	7,673	7,679	7,674	0,963	0,964	0,963
91	7,677	7,682	7,678	0,964	0,964	0,964
87	7,677	7,682	7,678	0,964	0,964	0,964
85	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
346	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
347	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
348	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
349	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
350	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
351	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
352	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
CP-PMG3	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
CP-PMG2	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
CP-PMG1	7,683	7,688	7,684	0,964	0,965	0,964
83	7,697	7,701	7,698	0,966	0,967	0,966
X52	7,697	7,701	7,698	0,966	0,967	0,966
CM-01	7,697	7,701	7,698	0,966	0,967	0,966
X58	7,697	7,701	7,698	0,966	0,966	0,966
19	7,696	7,7	7,698	0,966	0,966	0,966
TRGTSI	7,696	7,7	7,698	0,966	0,966	0,966
90	7,703	7,707	7,705	0,967	0,967	0,967
4	7,703	7,707	7,705	0,967	0,967	0,967
79	7,703	7,707	7,705	0,967	0,967	0,967
72	7,777	7,778	7,778	0,976	0,976	0,976

Tabla 3.6 Voltaje en los nodos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 5.

En la presente tabla, se observa que los voltajes están en el rango permitido.

Se puede concluir prematuramente, que la red eléctrica de ESPOL presenta voltajes dentro del rango de +/- 5%, por lo que la red se encuentra operando en condiciones normales con respecto a sus tensiones eléctricas.

Para la solución del flujo de potencia, se obtuvieron las corrientes en cada tramo, los cuales son representados de forma física por los conductores en las líneas de media tensión y con los cables subterráneos que se muestran instaladas en el plano de planta, y así mismo, en la red construida en el software de simulación.

A continuación, se mostrarán 4 tablas, las cuales representan, en partes, las corrientes en cada tramo, tal y como se muestra:

Nudo origen	Nudo destino	Código	Longitud m	IA (A)	IB (A)	IC (A)
51 SUBESTACIÓN	LLEGADA	Cable	8,6	91	92,8	92,1
50 SUBESTACION	51 SUBESTACIÓN	Línea aérea por fase	54,9	91	92,8	92,1
50 SUBESTACION	49 SUBESTACION	Línea aérea por fase	54,9	91	92,8	92,1
48 SUBESTACION	49 SUBESTACION	Línea aérea por fase	54,9	91	92,8	92,1
48 SUBESTACION	47 ADMISIONES	Línea aérea por fase	54,9	91	92,8	92,1
47 ADMISIONES	46 ADMISIONES	Línea aérea por fase	54,9	91	92,8	92,1
46 ADMISIONES	45 VIA A SUBESTACION	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
44 CARRETERA	45 VIA A SUBESTACION	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
43 CARRETERA	44 CARRETERA	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
43 CARRETERA	42 CARRETERA	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
41 UPC	42 CARRETERA	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
40 UPC	41 UPC	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
39 PETROECUADOR	40 UPC	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
38 PETROECUADOR	39 PETROECUADOR	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
37 BICIESPOL (76)	38 PETROECUADOR	Línea aérea por fase	54,9	91,1	92,8	92,1
36 COPOL	37 BICIESPOL (76)	Línea aérea por fase	54,9	88	88,8	89
35 COPOL (78)	36 COPOL	Línea aérea por fase	54,9	88	88,8	89
34 CONDUESPOL	35 COPOL (78)	Línea aérea por fase	54,9	87,1	87,9	88,1
33 CONDUESPOL (79)	34 CONDUESPOL	Línea aérea por fase	54,9	87,1	87,9	88,1
32 CONDUESPOL	33 CONDUESPOL (79)	Línea aérea por fase	54,9	74,4	73,8	75,5
31 CONDUESPOL (80)	32 CONDUESPOL	Línea aérea por fase	54,9	74,4	73,8	75,5
30 TECNOLOGIAS	31 CONDUESPOL (80)	Línea aérea por fase	54,9	66,4	65,8	67,4
29 TECNOLOGIAS (82)	30 TECNOLOGIAS	Línea aérea por fase	54,9	66,4	65,8	67,4
28 TECNOLOGIAS	29 TECNOLOGIAS (82)	Línea aérea por fase	54,9	51,2	50,7	52,3
27 TECNOLOGIAS	28 TECNOLOGIAS	Línea aérea por fase	54,9	51,2	50,7	52,3
26 TECNOLOGIAS	27 TECNOLOGIAS	Línea aérea por fase	54,9	51,2	50,7	52,3
25 TECNOLOGIAS	26 TECNOLOGIAS	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,2	50,4
24 PROTEL	25 TECNOLOGIAS	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,2	50,4
23 PROTEL	24 PROTEL	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,2	50,4
22 PROTEL	23 PROTEL	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,2	50,4
21 PROTEL	22 PROTEL	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
20 ESPOLTEL	21 PROTEL	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
19 ESPOLTEL	20 ESPOLTEL	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
18 CARRETERA	20	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
17 CAPILLA	18 CARRETERA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
16 CAPILLA	17 CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
15 CAPILLA	16 CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
14 EDCOM - CAPILLA	15 CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4

Tabla 3.7 Corrientes en los tramos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 1.

En la presente tabla, se observa que los tramos no presentan sobrecargas.

Nudo origen	Nudo destino	Código	Longitud m	IA (A)	IB (A)	IC (A)
13 EDCOM - CAPILLA	14 EDCOM - CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
12 EDCOM - CAPILLA	13 EDCOM - CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
11 VIA EDCOM-CAPILLA	12 EDCOM - CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
10 EDCOM	11 VIA EDCOM-CAPILLA	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
9 EDCOM	10 EDCOM	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
8 EDCOM	9 EDCOM	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
7 EDCOM	8 EDCOM	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
6 EDCOM	7 EDCOM	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
5 EDCOM	6 EDCOM	Línea aérea por fase	54,9	49,4	48,3	50,4
4 EDCOM	5 EDCOM	Línea aérea por fase	32,5	49,4	48,3	50,4
3 EDCOM	4 EDCOM	Línea aérea por fase	36,6	49,4	48,3	50,4
2 EDCOM	3 EDCOM	Línea aérea por fase	29,3	49,4	48,3	50,4
1 EDCOM	2 EDCOM	Línea aérea por fase	35,2	49,4	48,3	50,4
167	1 EDCOM	Cable	17,8	49,4	48,3	50,4
166	167	Cable	34,8	30,1	29	31,2
168	166	Cable	65,5	30,1	29	31,2
169	168	Cable	52,5	30,1	29	31,2
170	169	Cable	56,8	30,1	29	31,2
171	170	Cable	57,3	30,1	29	31,2
177	171	Cable	43,4	30,1	29	31,2
177	323	Cable	46,2	30,1	29	31,2
321	323	Línea aérea por fase	59,1	5,6	4,5	3,7
316.1	321	Línea aérea por fase	90,5	5,6	3,7	3,7
316	316.1	Línea aérea por fase	56,6	5,6	3,7	3,7
323	324	Línea aérea por fase	27,5	24,5	24,5	27,4
CM-05 + PMGEAR	CP-T1	Cable	63	0,1	0,1	0,1
CP-T1	CP-FSI	Cable	72,8	0,1	0,1	0,1
21	CP-FSI	Cable	28,7	0	0	0
324	325	Línea aérea por fase	41	10	10	12,9
325	325.1	Línea aérea por fase	64,5	9,3	9,3	12,2
325.1	328	Línea aérea por fase	38,9	9,3	9,3	12,2
328	329	Línea aérea por fase	56,7	6,5	6,5	7,9
329	330	Línea aérea por fase	41,4	6,5	6,5	6,5
CAJA12	68	Cable	53,4	109,6	107,6	107,8
CAJA11	CAJA12	Cable	25,3	109,6	107,6	107,8
CAJA10	CAJA11	Cable	17,9	109,6	107,6	107,8
CAJA9	CAJA10	Cable	28,4	109,6	107,6	107,8
CAJA8	CAJA9	Cable	19,7	109,6	107,6	107,8
CAJA3	CAJA8	Cable	198,7	109,6	107,6	107,8
CAJA2	CAJA3	Cable	40,1	109,6	107,6	107,8

Tabla 3.8 Corrientes en los tramos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 2.

En la presente tabla, se observa que los tramos no presentan sobrecargas.

Nudo origen	Nudo destino	Código	Longitud m	IA (A)	IB (A)	IC (A)
CAJA 1	CAJA2	Cable	38,2	109,6	107,6	107,8
75	CAJA 1	Cable	73,1	109,6	107,6	107,8
27	75	Línea aérea por fase	30,7	109,3	107,6	107,8
27.1	27	Línea aérea por fase	119,2	109,3	107,6	107,8
27.2	27.1	Línea aérea por fase	175,1	109,3	107,6	107,8
30	27.2	Línea aérea por fase	163,4	109,3	107,6	107,8
30	30.1	Línea aérea por fase	124,4	109,3	107,1	107,8
30.1	32	Línea aérea por fase	129,9	109,3	107,1	107,8
32	33	Línea aérea por fase	115,5	113,6	111,4	112,2
33	34	Línea aérea por fase	159,6	113,6	111,5	112,2
34	34.1	Línea aérea por fase	163,4	113,2	111	111,7
34.1	34.2	Línea aérea por fase	119,9	113,2	111	111,7
34.2	34.3	Línea aérea por fase	133	113,2	111	111,7
34.3	38	Línea aérea por fase	175,3	113,2	111	111,7
38	248	Línea aérea por fase	32,1	113,2	111	111,7
248	280	Línea aérea por fase	28,4	113,2	111	111,7
280	280.1	Línea aérea por fase	31,8	112,2	109	111,1
280.1	282	Línea aérea por fase	33,4	112,2	109	111,1
282	282.1	Línea aérea por fase	19,7	81,5	76,4	80,4
282.1	282.2	Línea aérea por fase	30,4	81,5	76,4	80,4
282.2	282.3	Línea aérea por fase	34,5	81,5	76,4	80,4
282.3	282.4	Línea aérea por fase	24,7	81,5	76,4	80,4
282.4	287	Línea aérea por fase	25,5	81,5	76,4	80,4
287	287.1	Línea aérea por fase	28	81,5	76,4	80,4
101	289	Línea aérea por fase	33,2	81,5	76,4	80,4
289	289.1	Línea aérea por fase	21,8	70,3	65,3	69,3
289.1	289.2	Línea aérea por fase	49,4	70,3	65,3	69,3
289.2	292	Línea aérea por fase	33,4	70,3	65,3	69,3
292	292.1	Línea aérea por fase	39,4	63,5	58,4	58,2
292.1	294	Línea aérea por fase	31,7	63,5	58,4	58,2
294	294.1	Línea aérea por fase	35,9	61	55,9	55,7
294.1	294.2	Línea aérea por fase	30,9	61	55,9	55,7
294.2	294.3	Línea aérea por fase	27,6	61	55,9	55,7
294.3	294.4	Línea aérea por fase	37	61	55,9	55,7
294.4	294.5	Línea aérea por fase	33,9	61	55,9	55,7
294.5	300	Línea aérea por fase	28,3	61	55,9	55,7
300	301	Línea aérea por fase	31,3	61	55,9	55,7
301	301.1	Línea aérea por fase	120	51	49,5	49,3
301.1	301.2	Línea aérea por fase	31,3	51	49,5	49,3
301.2	307	Línea aérea por fase	33,3	51	49,5	49,3
307	308	Línea aérea por fase	37,1	49,7	48,3	48
308	309	Línea aérea por fase	32,8	49,7	48,3	48

Tabla 3.9 Corrientes en los tramos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 3.

En la presente tabla, se observa que los tramos no presentan sobrecargas.

Nudo origen	Nudo destino	Código	Longitud m	IA (A)	IB (A)	IC (A)
309	310	Línea aérea por fase	34,5	48,3	46,9	46,6
310	311	Línea aérea por fase	34,5	6,7	6,7	6,7
311	311.1	Línea aérea por fase	31,5	2,8	2,8	2,8
311.1	313	Línea aérea por fase	34	2,8	2,8	2,8
313	313.1	Línea aérea por fase	41,4	0	0	0
313.1	313.2	Línea aérea por fase	43,7	0	0	0
358	310	Cable	16,7	1,5	1,5	1,2
358	CM-02 + PMGEAR	Cable	131,4	1,5	1,5	1,3
CM-02 + PMGEAR	CP-1	Cable	57,1	1,6	1,6	1,3
CP-1	BARRA TRAF0	Cable	26,3	0	0	0
CP-1	CP-2	Cable	59,9	1,6	1,6	1,3
CP-2	CP-3	Cable	17,4	1,6	1,6	1,3
CP-4	CP-3	Cable	5,9	1,6	1,6	1,4
CP-4	CP-5	Cable	14,5	1,6	1,6	1,4
CP-5	645	Cable	8,6	1,6	1,6	1,4
S&C	645	Cable	12,1	1,6	1,6	1,4
346	289	Línea aérea equilibrada	17,8	0,2	0,2	0,2
347	346	Línea aérea equilibrada	31,1	0,2	0,2	0,2
348	347	Línea aérea equilibrada	27,6	0,2	0,2	0,2
349	348	Línea aérea equilibrada	21,8	0,2	0,2	0,2
350	349	Línea aérea equilibrada	45,5	0,2	0,2	0,2
350	351	Línea aérea equilibrada	36,2	0,2	0,2	0,2
352	351	Línea aérea equilibrada	24	0,2	0,2	0,2
352	CP-PMG3	Cable	58,6	0,2	0,2	0,2
CP-PMG3	CP-PMG2	Cable	102,2	0,1	0,1	0,1
CP-PMG2	CP-PMG1	Cable	41,5	0	0	0
282	X52	Cable	19,9	6,6	6,6	6,6
X52	CM-01	Cable	72,7	6,6	6,6	6,6
CM-01	X58	Cable	65,5	6,6	6,6	6,6
X58	19	Cable	34,9	6,6	6,6	6,6

Tabla 3.10 Corrientes en los tramos de la Red Eléctrica de Espol – Parte 4.

En la presente tabla, se observa que los tramos no presentan sobrecargas.

Se puede concluir prematuramente, que la red eléctrica de ESPOL no presenta sobrecargas en ninguno de sus tramos, por lo que la red se encuentra operando en condiciones normales con respecto a sus corrientes eléctricas.

### 3.2.2 Análisis de Cortocircuito

Las corrientes obtenidas a partir del análisis de cortocircuito se las utiliza como corrientes mínimas de falla para configurar el controlador del Pad-mounted Gear para que este pueda responder en caso de alguna falla en un tiempo determinado, tal como la función ANSI 50 para la aplicación de la protección de sobrecorriente instantánea.

En el caso de presentarse alguna falla en la red de distribución, la corriente mínima de falla que se tendría es de 1754 A para el Caso FIEC, es decir, el controlador se lo setea a 1.75 kA para que opera prolijamente ante un cortocircuito.

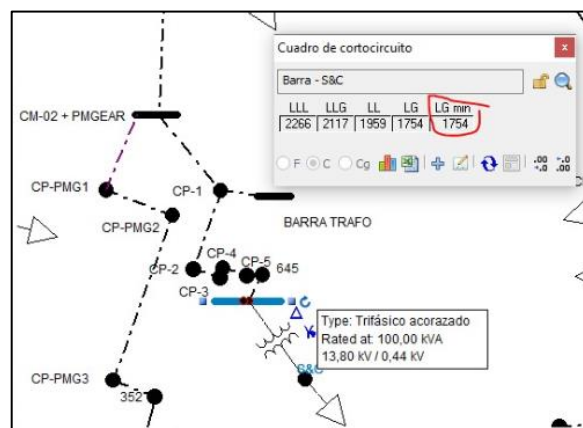


Figura 3.1. Corriente mínima que le llega a CM-02

En el caso de presentarse alguna falla en la red de distribución, la corriente mínima de falla que se tendría es de 1786 A para el Caso FICT, es decir, el controlador se lo setea a 1.78 kA para que opera prolijamente ante un cortocircuito.

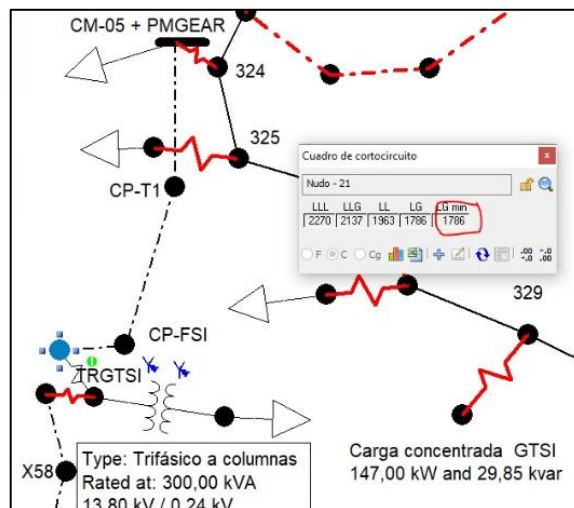


Figura 3.2. Corriente mínima que le llega a CM-05

### 3.2.3 Cálculo de la coordinación de las protecciones Reconectador-fusible en los casos FIEC y FICT

Se observa en la Figura 3.5 un ejemplo de coordinación entre fusible y Reconectador, el cual se tomará en cuenta para el diseño de la coordinación de protecciones en ambos casos (FIEC y FICT), para los cuales, aplicando la alternativa del uso del Reconectador para anillar la Red de ESPOL, se tomará en cuenta los valores cortocircuito.

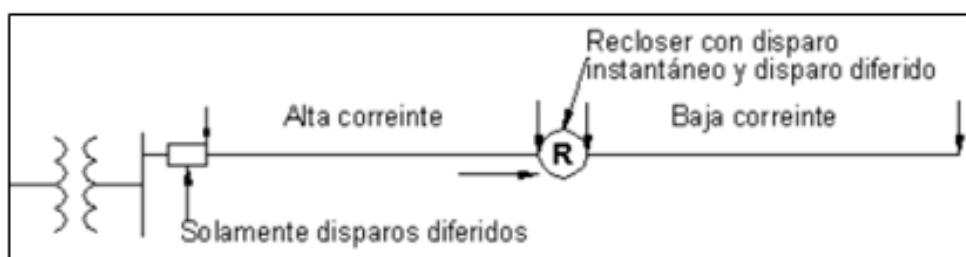


Figura 3.3. Diagrama unifilar de configuración con Reconectador. [25]

En la Figura 3.3 se tiene el diagrama unifilar donde se puede visualizar al Reconectador ubicado entre el alimentador de 13.8kV del transformador y el resto del tramo.

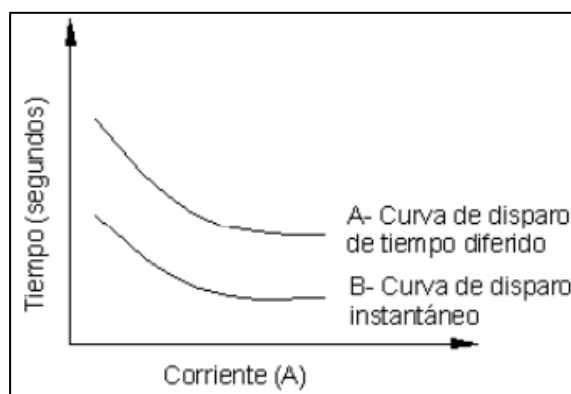


Figura 3.4. Curva de tiempo del Reconectador. [25]

En la Figura 3.4 se tiene las curvas de tiempo del Reconectador donde se puede observar que hay dos respuestas: una instantánea y otra con tiempo diferido, la cual se aplica en casos de que no se despeja la falla en el primer disparo (operación de la curva instantánea).

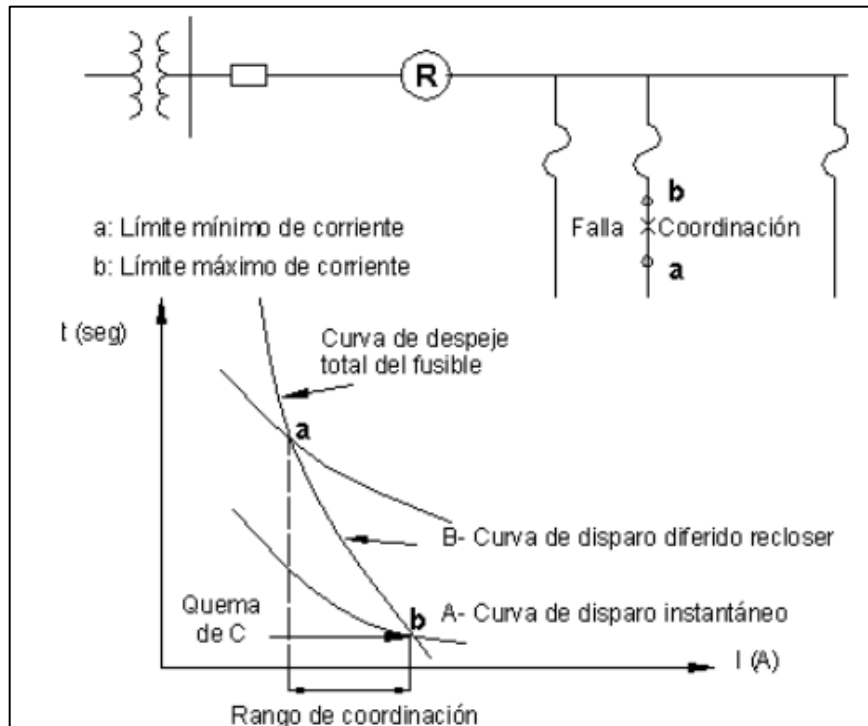


Figura 3.5. Curva de coordinación Reconectador-fusible.

En la figura superior se tiene las curvas de tiempo del Reconectador donde se puede observar que hay dos respuestas: una instantánea y otra con tiempo diferido. La cual se aplica en casos de que no se despeja la falla en el primer disparo (operación de la curva instantánea).

Corriente nominal	630 A
Corriente nominal de interrupción	0.63 – 12.50 kA
Seteo de corriente de Interrupción instantánea – Caso FIEC	1.75 kA
Seteo de corriente de Interrupción instantánea – Caso FICT	1.78 kA

Tabla 3.11 Especificaciones de corrientes del Reconectador

En la Tabla 3.11 se aprecian las especificaciones de corriente nominal y corriente de interrupción ante una falla que sea capaz de detectar el Reconectador, por lo tanto, se selecciona un valor de seteo para la corriente de interrupción, la cual fue seleccionada a partir del análisis de cortocircuito para ambos casos de mallado.



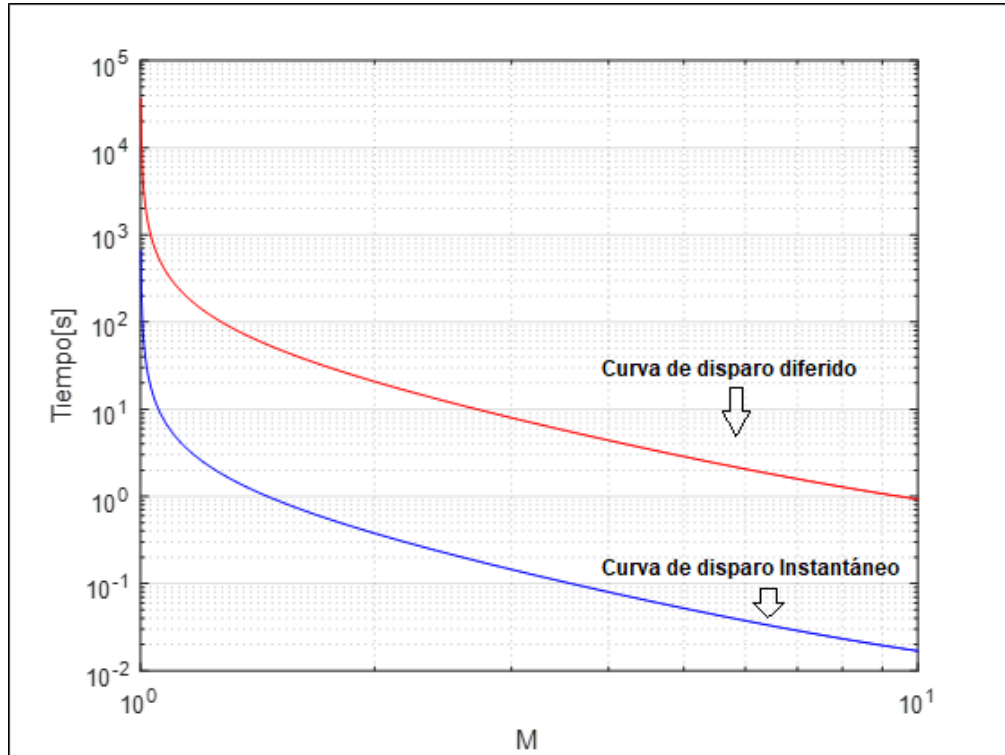


Figura 3.6. Curva de tiempo vs Multiplicador de corriente para la protección del Reconectador

En la Figura 3.6 se tiene las curvas de tiempo del Reconectador ABB-OVR15 donde se puede observar que hay dos respuestas: una instantánea y otra con tiempo diferido, la cual se aplica en casos de que no se despeja la falla en el primer disparo (operación de la curva instantánea). Ambas curvas comprenden el modelo de tiempo extremadamente inverso tipo CO-11, considerando un modelo aproximado para las curvas de tiempo de interrupción del Reconectador.

$$M = \frac{I_{Interrupción}}{I_{Nominal}} ; I_{Nom\_FIEC} = 125 A ; I_{Nom\_FICT} = 100 A \quad (3.1)$$

$$t(s) = \frac{A * Td + K1}{M^P - Q} + B * Td + K2 \quad (3.2)$$

Donde las variables de la ecuación 3.2:

- $A = 5,57 [s]$
- $B = 0,028 [s]$
- $P = 2, Q = 1, K1 = K2 = 0 [s]$
- $Td = 0,2$

En la ecuación 3.2 se observa la expresión para el tiempo extremadamente inverso, la cual se encuentra en función de la corriente de interrupción y del Dial de tiempo, el cual se toman 2 valores para la generación de ambas curvas de disparo en el caso de disparo diferido y disparo instantáneo.

#### **3.2.4 Cálculo de la coordinación de protecciones del Pad-mounted Gear para los casos FIEC y FICT**

Se observa en la Figura 3.5 la curva representativa del Pad-mounted Gear, el cual se tomará en cuenta para el diseño de la coordinación de protecciones en ambos casos (FIEC y FICT), para los cuales, aplicando la alternativa del uso del Reconectador para anillar la red eléctrica de ESPOL, se tomará en cuenta los valores cortocircuito.

Corriente nominal ajustable por fabricante	200 – 700A
Corriente nominal de interrupción	12.5kA

Tabla 3.12 Especificaciones de corrientes del Pad-mounted Gear.

En la Tabla 3.12 se aprecian las especificaciones de corriente nominal y corriente de interrupción ante una falla que sea capaz de detectar el Pad-mounted Gear, por lo tanto, se selecciona un valor de seteo para la corriente de interrupción, la cual fue seleccionada a partir del análisis de cortocircuito para ambos casos de mallado.

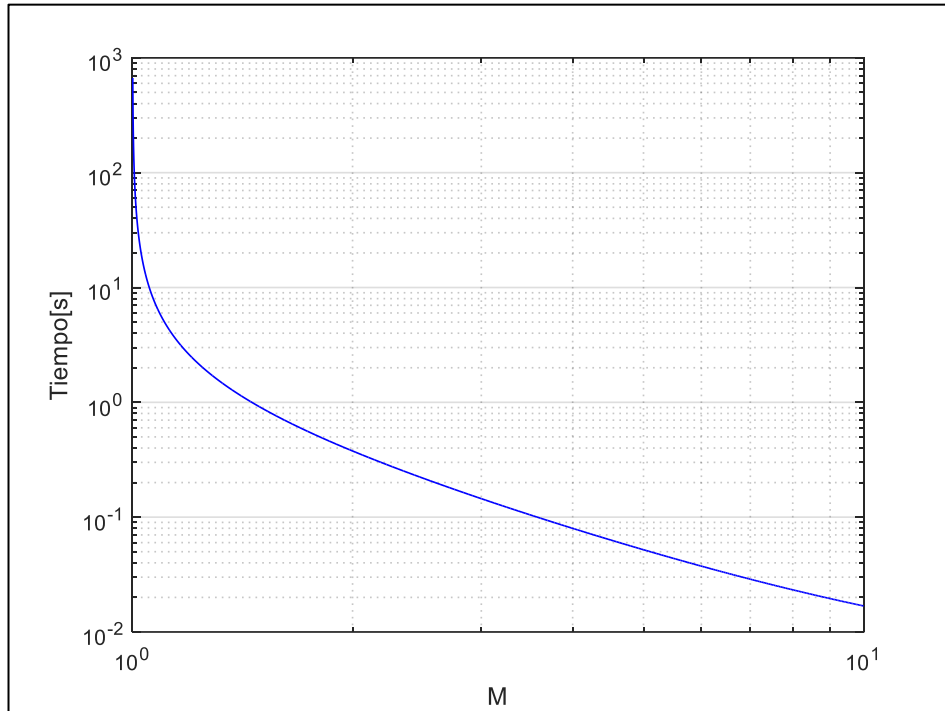


Figura 3.7. Curva de tiempo vs Multiplicador de corriente para la protección del Pad-mounted Gear.

En la Figura 3.7 se tiene la curva de tiempo del Pad-mounted Gear donde se puede observar su respuesta ante el despeje de la falla (operación de la curva instantánea). La curva comprende el modelo de tiempo extremadamente inverso tipo CO-11, considerando un modelo aproximado para las curvas de tiempo de interrupción del Pad-mounted Gear.

$$M = \frac{I_{Interrupción}}{I_{Nominal}} ; I_{Nom\_FIEC} = 125 A ; I_{Nom\_FICT} = 100 A \quad (3.3)$$

$$t(s) = \frac{A * Td + K1}{M^P - Q} + B * Td + K2 \quad (3.4)$$

Donde las variables de la ecuación 3.2:

- A = 5,57 [s]
- B = 0,028 [s]
- P = 2, Q = 1, K1 = K2 = 0 [s]
- Td = 0,2

### 3.3 Análisis económico

Debido a que el presente proyecto es una continuación de la propuesta de anillo abierto propuesto del proyecto integrador “Análisis y Rediseño del Sistema Eléctrico de Distribución de la ESPOL” realizado el semestre 2018-II. Para añadirle esta fase se hace referencia al presupuesto de la fase anterior.

PRESUPUESTO PROYECTO REDISEÑO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESPOL		
UNIDADES DE PROPIEDAD Y EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO
EST- 3SR	12	2996,22
EST- 3SD	15	7431,30
EST-3SA	20	6080,24
EST-3SP	9	1445,72
Acometidas	2	447,90
Tensor simple	6	355,86
Tensor doble	2	162,16
Conductor de aluminio desnudo cableado ACSR # 3/0	7484 m	13001,62
Conductor de aluminio desnudo cableado ACSR # 2/0	2495 m	3343,30
Reconectador ABB 15kV OVR15 con controlador	3	57120,00
Transformadores de potencial	8	9600,00
Luminarias a 240V LED 250W en poste potencia constante	21	18349,17
<b>SUBTOTAL UNIDADES DE PROPIEDAD Y EQUIPOS</b>		<b>120333,51</b>
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>		<b>10371,72</b>
<b>SUBTOTAL TRANSPORTACIÓN</b>		<b>1939,83</b>
<b>TOTAL PROYECTO (USD)</b>		<b>132645,06</b>

Tabla 3.13 Presupuesto de la primera fase del proyecto. [1]

#### 3.3.1 Presupuesto de Construcción y mano de obra

En ambos diseños se toma en cuenta la creación de una segunda cruceta en el poste terminal 352 en el caso de FIEC de la cual se baja la acometida alternativa ya se para alimentar el transformador del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real de 100KVA o al pad-moured gear que realiza el switcheo a la alimentación que se le da al cuarto de celdas de media tensión CM-02. Lo mismo pasa con el poste 324 ubicado alado del cuarto de celdas de media tensión CM-05.

Todo lo que implica los precios de los elementos a utilizar la doble cruceta se los detalla en la siguiente tabla:

A	CONSTRUCCIÓN DE SEGUNDA CRUCETA EN POSTE Y TRANSICIÓN DE ACOMETIDA AÉREA A SUBTERRÁNEA						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC RECONECTADOR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT RECONECTADOR	PRECIO FINAL
1	CRUCETA ACERO GALVANIZADO, UNIVERSAL, PERFIL "L" 75 X 75 X 6 X 2 400 mm (3 X 3 X 1/4 X 79")	c/u	\$ 79,35	2	\$ 158,70	2	\$ 158,70
2	PERNO "U" ACERO GALVANIZADO, CON 2 TUERCAS, ARANDELAS: 2 PLANAS Y 2 DE PRESIÓN DE 16 X 150 mm (5/8" X 6")	c/u	\$ 6,29	2	\$ 12,58	2	\$ 12,58
3	PIE AMIGO DE ACERO GALVANIZADO, PERFIL "L" 38 X 38 X 6 X 711 mm (1 1/2 X 1/4 X 28")	c/u	\$ 6,81	2	\$ 13,62	2	\$ 13,62
4	PERNO MÁQUINA ACERO GALVANIZADO, TUERCA, ARANDELA PLANA Y DE PRESIÓN, 16 X 38 mm (5/8 X 1,5")	c/u	\$ 1,66	10	\$ 16,60	10	\$ 16,60
5	TIRAFUSIBLE CABEZA REMOVIBLE	c/u	\$ 22,19	3	\$ 66,57	3	\$ 66,57
6	CABLE UNIPOLAR DE CU, AISLADO 15 kV, XLPE, AWG, 19 HILOS, 100% NA	m	\$ 23,65	93	\$ 2.199,45	140	\$ 3.311,00
7	TERMINAL DE MEDIO VOLTAJE PARA EXTERIORES CON AISLAMIENTO 15 kV	c/u	\$ 676,12	3	\$ 2.028,36	3	\$ 2.028,36
8	CABLE DE CU, CABLEADO AISLADO 600 AMP, TW, 10 AWG	m	\$ 1,01	3	\$ 3,03	3	\$ 3,03
9	ESTRIBO PARA DERIVACIÓN, ALEACIÓN CU-SN	c/u	\$ 7,78	3	\$ 23,34	3	\$ 23,34
10	GRAPA ALEACIÓN DE AL, DERIVACIÓN PARA LÍNEA EN CALIENTE, RANGO 4 - 2/0	c/u	\$ 4,49	3	\$ 13,47	3	\$ 13,47
11	TUBO RÍGIDO DE ACERO GALVANIZADO 110mm - 6m y REVERSIBLE EMT 110 mm	c/u	\$ 52,72	1	\$ 52,72	1	\$ 52,72
12	AISLADORES TIPO PIN ANSI 55-5	c/u	\$ 6,46	6	\$ 38,76	6	\$ 38,76
13	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE, 0,76mm DE ESPESOR x 19,05mm DE ANCHO	c/u	\$ 1,19	3	\$ 3,57	3	\$ 3,57
14	HEBILLA PARA FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19,05mm DE ANCHO	c/u	\$ 1,15	3	\$ 3,45	3	\$ 3,45
15	CODO DE ACERO GALVANIZADO INOXIDABLE DE 110mm CURVA AMPLIA DE 90°	c/u	\$ 14,63	1	\$ 14,63	1	\$ 14,63
16	UNIÓN PARA TUBO RÍGIDO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO 110mm	c/u	\$ 2,23	1	\$ 2,23	1	\$ 2,23
17	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 3 PERNOS, 38 X 4 X 140 - 160 mm (1 1/2 X 11/64 X 5 1/2 - 6 1/2")	c/u	\$ 5,19	3	\$ 15,57	3	\$ 15,57
18	ACCESORIO DE SUJECIÓN PARA TERMINAL	c/u	\$ 50,00	3	\$ 150,00	3	\$ 150,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4.816,65</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.928,20</b>

Tabla 3.14 Presupuesto de la doble cruceta – Alternativa Reconector.

A	CONSTRUCCIÓN DE SEGUNDA CRUCETA EN POSTE Y TRANSICIÓN DE ACOMETIDA AÉREA A SUBTERRÁNEA						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL
1	CRUCETA ACERO GALVANIZADO, UNIVERSAL, PERFIL "L" 75 X 75 X 6 X 2 400 mm(3 X 3 X 1/4 X 79")	c/u	\$ 79,35	2	\$ 158,70	2	\$ 158,70
2	PERNO "U" ACERO GALVANIZADO, CON 2 TUERCAS, ARANDELAS: 2 PLANAS Y 2 DE PRESIÓN DE 16 X 150 mm (5/8" X 6")	c/u	\$ 6,29	2	\$ 12,58	2	\$ 12,58
3	PIE AMIGO DE ACERO GALVANIZDO, PERFIL "L" 38 X 38 X 6 X 711 mm (1 1/2 X 1/4 X 28")	c/u	\$ 6,81	2	\$ 13,62	2	\$ 13,62
4	PERNO MÁQUINA ACERO GALVANIZADO, TUERCA, ARANDELA PLANA Y DE PRESIÓN, 16 X 38 mm (5/8 X 1,5")	c/u	\$ 1,66	10	\$ 16,60	10	\$ 16,60
5	TIRAFUSIBLE CABEZA REMOVIBLE	c/u	\$ 22,19	3	\$ 66,57	3	\$ 66,57
6	CABLE UNIPOLAR DE CU, AISLADO 15 kV, XLPE, AWG, 19 HILOS, 100% NA	m	\$ 23,65	180	\$ 4.257,00	140	\$ 3.311,00
7	TERMINAL DE MEDIO VOLTAJE PARA EXTERIORES CON AISLAMIENTO 15 kV	c/u	\$ 676,12	3	\$ 2.028,36	3	\$ 2.028,36
8	CABLE DE CU, CABLEADO AISLADO 600 AMP, TW, 10 AWG	m	\$ 1,01	3	\$ 3,03	3	\$ 3,03
9	ESTRIBO PARA DERIVACIÓN, ALEACIÓN CU-SN	c/u	\$ 7,78	3	\$ 23,34	3	\$ 23,34
10	GRAPA ALEACIÓN DE AL, DERIVACIÓN PARA LÍNEA EN CALIENTE, RANGO 4 - 2/0	c/u	\$ 4,49	3	\$ 13,47	3	\$ 13,47
11	TUBO RÍGIDO DE ACERO GALVANIZADO 110mm - 6m y REVERSIBLE EMT 110 mm	c/u	\$ 52,72	1	\$ 52,72	1	\$ 52,72
12	AISLADORES TIPO PIN ANSI 55-5	c/u	\$ 6,46	6	\$ 38,76	6	\$ 38,76
13	FLEJE DE ACERO INOXIDABLE, 0,76mm DE ESPESOR x 19,05mm DE ANCHO	c/u	\$ 1,19	3	\$ 3,57	3	\$ 3,57
14	HEBILLA PARA FLEJE DE ACERO INOXIDABLE DE 19,05mm DE ANCHO	c/u	\$ 1,15	3	\$ 3,45	3	\$ 3,45
15	CODO DE ACERO GALVANIZASO INOXIDABLE DE 110mm CURVA AMPLIA DE 90°	c/u	\$ 14,63	1	\$ 14,63	1	\$ 14,63
16	UNIÓN PARA TUBO RÍGIDO CONDUIT DE ACERO GALVANIZADO 110mm	c/u	\$ 2,23	1	\$ 2,23	1	\$ 2,23
17	ABRAZADERA ACERO GALVANIZADO, PLETINA, 3 PERNOS, 38 X 4 X 140 - 160 mm (1 1/2 X 11/64 X 5 1/2 - 6 1/2")	c/u	\$ 5,19	3	\$ 15,57	3	\$ 15,57
18	ACCESORIO DE SUJECIÓN PARA TERMINAL	c/u	\$ 50,00	3	\$ 150,00	3	\$ 150,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 6.874,20</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.928,20</b>

Tabla 3.15 Presupuesto de la doble cruceta – Alternativa Pad-mounted Gear.

Los costos para la segunda alternativa son más altos debido a que se tiene más distancia recorrida.

Se debe de contratar el personal adecuado que realice la instalación de la segunda cruceta con sus respectivos elementos, es por eso por lo que se hace el siguiente presupuesto:

MANO DE OBRA "INSTALACIÓN DE LA DOBLE CRUCETA"			
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
SUPERVISOR	1	\$ 763,20	\$ 763,20
LINIEROS	1	\$ 1.716,80	\$ 1.716,80
AYUDANTE ELÉCTRICO	1	\$ 524,80	\$ 524,80
TENDIDO, REGULADO Y AMARRE DEL CONDUCTOR ACSR # 2 AWG	14	\$ 349,81	\$ 4.897,34
ESTRUCTURA DE RED PREENSAMBLADA TIPO DOBLE CRUCETA	1	\$ 126,00	\$ 126,00
PUENTE AÉREO	3	\$ 50,00	\$ 150,00
SUBTOTAL			\$ 8.178,14
EQUIPOS			
ESCALERA TELESCÓPICA	1	\$ 60,00	\$ 60,00
HERRAMIENTAS PEQUEÑAS	1	\$ 80,00	\$ 80,00
SUBTOTAL			\$ 140,00
TRANSPORTE			
CAMIONETA	1	\$ 800,00	\$ 800,00
TOTAL			\$ 9.118,14

Tabla 3.16 Presupuesto de mano de obra para doble cruceta.

Para la construcción de la acometida de media tensión subterránea se debe de tomar en cuenta tanto el costo de ductos, que es por donde pasan los cables y el costo de las cajas de paso, que son donde se hace el codo del cableado para el cambio de dirección o por normativa se los coloca cada 30 metros. Los materiales para la instalación los bancos de ductos para el cableado subterráneo para media tensión se lo detalla de la siguiente manera:

B	CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE DUCTOS CON CONFIGURACIÓN 1X3 DE 110mm						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC RECONECTADOR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT RECONECTADOR	PRECIO FINAL
1	INTERIOR LISA Y EXTERIOR CORRUGADA DE 110 mm	c/u	\$ 9,17	30	\$ 275,10	42	\$ 385,14
2	3 COLUMNAS ANCHO 480 mm x 90 mm DE ALTO	c/u	\$ 3,00	8	\$ 24,00	18	\$ 54,00
3	CINTA DE SEÑALIZACIÓN ANCHO 250 mm x 0,175 mm DE ESPESOR	c/u	\$ 10,00	1	\$ 10,00	1	\$ 10,00
4	ARENA	m3	\$ 1,25	100	\$ 125,00	200	\$ 250,00
5	MATERIAL DE RELLENO	m3	\$ 3,00	50	\$ 150,00	100	\$ 300,00
6	RIPIO	m3	\$ 3,00	0,063	\$ 0,19	0,063	\$ 0,19
7	HORMIGÓN DE 140Kg/cm2	m3	\$ 66,14	0,063	\$ 4,17	0,063	\$ 4,17
8	TUBO DE POLIETILENO TRIDUCTO DE 40mm	c/u	\$ 5,00	1	\$ 5,00	1	\$ 5,00
				TOTAL	\$ 593,46	TOTAL	\$ 1.008,50

Tabla 3.17 Presupuesto de banco de ductos – Alternativa Reconector.

B	CONSTRUCCIÓN DE BANCO DE DUCTOS CON CONFIGURACIÓN 1X3 DE 110mm						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL
1	INTERIOR LISA Y EXTERIOR CORRUGADA DE 110 mm	c/u	\$ 9,17	90	\$ 825,30	42	\$ 385,14
2	3 COLUMNAS ANCHO 480 mm x 90 mm DE ALTO	c/u	\$ 3,00	24	\$ 72,00	18	\$ 54,00
3	CINTA DE SEÑALIZACIÓN ANCHO 250 mm x 0,175 mm DE ESPESOR	c/u	\$ 10,00	2	\$ 20,00	2	\$ 20,00
4	ARENA	m3	\$ 1,25	250	\$ 312,50	200	\$ 250,00
5	MATERIAL DE RELLENO	m3	\$ 3,00	150	\$ 450,00	100	\$ 300,00
6	RIPIO	m3	\$ 3,00	0,063	\$ 0,19	0,063	\$ 0,19
7	HORMIGÓN DE 140Kg/cm2	m3	\$ 66,14	0,063	\$ 4,17	0,063	\$ 4,17
8	TUBO DE POLIETILENO TRIDUCTO DE 40mm	c/u	\$ 5,00	1	\$ 5,00	1	\$ 5,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.689,16</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.018,50</b>

Tabla 3.18 Presupuesto de banco de ductos – Alternativa Pad-mounted.

Los materiales para la instalación de las cajas de paso para el cableado subterráneo para media tensión se lo detalla de la siguiente manera:

C	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE PASO PARA ACOMETIDA SUBTERRÁNEA CAJAS O POZOS PARA REDES SUBTERRÁNEAS TIPO B						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC RECONECTADOR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT RECONECTADOR	PRECIO FINAL
1	MAMPOSTERÍA DE LADRILLO CON ENLUCIDO; DE LADRILLO O BLOQUE PESADO PARA ACERA Y HORMIGÓN ARMADO PARA CALZADA. LA CANTIDAD DEPENDE DE LA CONFIGURACIÓN DEL BANCO DE DUCTOS DE LLEGADA Y SALIDA (HORMIGÓN ARMADO DE 210 Kg/cm2	m3	\$ 102,68	4	\$ 410,72	6	\$ 616,08
2	SOPORTE PARA CABLES	c/u	\$ 5,00	4	\$ 20,00	6	\$ 30,00
3	TAPÓN CIEGO PARA DUCTOS CON CABLE; MASILLA MOLDEABLE SELLANTE, RETARDANTE A LA LLAMA	c/u	\$ 6,96	6	\$ 41,76	6	\$ 41,76
4	ARMADO CON LOSA DE 70mm DE ESPESOR CON MARCO Y BROCAL METÁLICO GALVANIZADO ESPESOR DE 4mm y 50mm DE BASE x 75mm DE ALTO, ABERTURA DE 110° DE 1000mm x 1000mm INTERIOR y 1055mm x 1055mm EXTERIOR	c/u	\$ 37,60	4	\$ 150,40	8	\$ 300,80
5	MATERIAL FILTRANTE PARA PISO DE POZO (GRAVA)	m2	\$ 12,00	0,549	\$ 6,59	0,549	\$ 6,59
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 629,47</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 995,23</b>

Tabla 3.19 Presupuesto de cajas de paso – Alternativa Reconector.



C	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DE PASO PARA ACOMETIDA SUBTERRÁNEA CAJAS O POZOS PARA REDES SUBTERRÁNEAS TIPO B						
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD PARA FIEC PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL	CANTIDAD PARA FICT PAD-MOUNTED GEAR	PRECIO FINAL
1	MAMPOSTERÍA DE LADRILLO CON ENLUCIDO; DE LADRILLO O BLOQUE PESADO PARA ACERA Y HORMIGÓN ARMADO PARA CALZADA. LA CANTIDAD DEPENDE DE LA CONFIGURACIÓN DEL BANCO DE DUCTOS DE LLEGADA Y SALIDA (HORMIGÓN ARMADO DE 210 Kg/cm2	m3	\$ 102,68	8	\$ 821,44	6	\$ 616,08
2	SOPORTE PARA CABLES	c/u	\$ 5,00	8	\$ 40,00	6	\$ 30,00
3	TAPÓN CIEGO PARA DUCTOS CON CABLE; MASILLA MOLDEABLE SELLANTE, RETARDANTE A LA LLAMA	c/u	\$ 6,96	6	\$ 41,76	6	\$ 41,76
4	ARMADO CON LOSA DE 70mm DE ESPESOR CON MARCO Y BROCAL METÁLICO GALVANIZADO ESPESOR DE 4mm y 50mm DE BASE x 75mm DE ALTO, ABERTURA DE 110° DE 1000mm x 1000mm INTERIOR y 1055mm x 1055mm EXTERIOR	c/u	\$ 37,60	8	\$ 300,80	8	300,8
5	MATERIAL FILTRANTE PARA PISO DE POZO (GRAVA)	m2	\$ 12,00	0,549	\$ 6,59	0,549	\$ 6,59
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.210,59</b>	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 995,23</b>

Tabla 3.20 Presupuesto de cajas de paso – Alternativa Pad-mounted Gear.

El costo de mano de obra a contratar para realizar la instalación del cableado subterráneo para media tensión se lo detalla de la siguiente manera:

MANO DE OBRA "CONSTRUCCIÓN DE LA CANALIZACIÓN DE RED SUBTERRÁNEA"			
DESCRIPCIÓN DE RECURSO	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA	1	\$ 641,60	\$ 641,60
CHOFER DE VOLQUETA	1	\$ 841,00	\$ 841,00
PEÓN	4	\$ 572,00	\$ 2.288,00
INSPECTOR DE OBRA	1	\$ 643,20	\$ 643,20
SUBTOTAL			\$ 4.413,80
EQUIPOS			
HERRAMIENTAS MANUALES	1	\$ 260,00	\$ 260,00
VOLQUETA	1	\$ 200,00	\$ 200,00
RETROEXCAVADORA	1	\$ 230,00	\$ 230,00
SUBTOTAL			\$ 690,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 5.103,80</b>

Tabla 3.21 Presupuesto de mano de obra para canalización de red subterránea.

MANO DE OBRA "POZOS PARA LA RED SUBTERRÁNEA"				
DESCRIPCIÓN DE RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO	
SUPERVISOR	1	\$ 913,92	\$	913,92
MAESTRO	1	\$ 913,92	\$	913,92
ALBAÑIL	1	\$ 513,20	\$	513,20
PEÓN	2	\$ 508,80	\$	1.017,60
SOLDADOR	1	\$ 513,60	\$	513,60
SUBTOTAL			\$	3.872,24
EQUIPOS				
SOLDADORA	1	\$ 50,00	\$	50,00
CONCRETERA	1	\$ 25,00	\$	25,00
EQUIPOS DE BAJO RUBRO	1	\$ 100,00	\$	100,00
SUBTOTAL			\$	175,00
TRANSPORTE				
CAMIONETA	1	\$ 30,00	\$	30,00
TOTAL			\$	4.077,24

Tabla 3.22 Presupuesto de mano de obra para pozos de red subterránea.

MANO DE OBRA "TENDIDO DE ACOMETIDA SUBTERRÁNEA Y PUESTA EN MARCHA"				
DESCRIPCIÓN DE RECURSO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO	
SUPERVISOR	1	\$ 4.800,00	\$	4.800,00
LINIERO	1	\$ 3.000,00	\$	3.000,00
SUBTOTAL			\$	7.800,00
EQUIPOS				
CAMIONETA	1	\$ 30,00	\$	30,00
TOTAL			\$	7.830,00

Tabla 3.23 Presupuesto de mano de obra para tendido de red subterránea.

Para cada alternativa tenemos los costos de los equipos que utilizan para realizar la transferencia de energía y se los detalla de la siguiente manera:

D	EQUIPOS PARA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA				
1	EQUIPO DE TRANSFERENCIA 1				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO FINAL
	PAD-MOUNTED GEAR	c/u	30000	1	\$ 30.000,00
	TOTAL				\$ 30.000,00
2	EQUIPO DE TRANSFERENCIA 2				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO FINAL
	RECONECTADOR ABB OVR-15 CON	c/u	19040	1	\$ 19.040,00
	FEED-THRU INSERTS	c/u	205,2	3	\$ 615,60
	TOTAL				\$ 19.655,60

Tabla 3.24 Presupuesto de equipos de transferencia de energía.

Para la modificación en las borneras del transformador se utiliza el Feed-thru Insertss que permite que tengamos dos entradas por fase, estos van acompañados de otros elementos con los siguientes costos:

E	MATERIALES DE PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR CASO ÚNICO DEL "FEED-THRU INSERTS"				
	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO FINAL
1	CODO CONECTOR DESCONECTABLE TIPO T-600AMP. CLASE 15 kV	c/u	80	6	\$ 480,00
2	CONDUCTOR Cu AISLADO PVC, 600 A, TFF 4 AWG	m	23,81	10	\$ 238,10
3	KIT DE ATERRIZAMIENTO PARA CABLE	c/u	30	3	\$ 90,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 808,10</b>

Tabla 3.25 Presupuesto de materiales para Feed-thru Insertss.

Finalmente uniendo los valores de materiales, equipos y mano de obra tenemos para cada alternativa y lugar los siguientes costos totales:

PRESUPUESTO FINAL	FIEC RECONECTADOR	FICT RECONECTADOR	FIEC PAD-MOUNTED GEAR	FICT PAD-MOUNTED GEAR
<b>MATERIALES</b>				
MATERIALES DE TRANSICIÓN DE ACOMETIDA AÉREA A SUBTERRÁNEA	\$ 4.816,65	\$ 5.928,20	\$ 6.874,20	\$ 5.928,20
MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS DE ACOMETIDA SUBTERRÁNEA	\$ 593,46	\$ 1.008,50	\$ 1.689,16	\$ 1.018,50
MATERIALES PARA CONSTRUCCIÓN DE POZOS O CAJAS DE PASOS PARA LOS DUCTOS DE ACOMETIDA SUBTERRÁNEA	\$ 629,47	\$ 995,23	\$ 1.210,59	\$ 995,23
MATERIALES DE PROTECCIÓN PARA EQUIPO FEED THRU INSERTS	\$ 808,10	\$ 808,10	-	-
<b>SUBTOTAL DE MATERIALES</b>	<b>\$ 6.847,67</b>	<b>\$ 8.740,02</b>	<b>\$ 9.773,94</b>	<b>\$ 7.941,92</b>
<b>EQUIPOS</b>				
PAD-MUNTED GEAR	-	-	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
RECONECTADOR FEED-THRU INSERTS	\$ 19.655,60	\$ 19.655,60	-	-
<b>MANO DE OBRA</b>				
INSTALACIÓN DE DOBLE CRUCETA DEL POSTE CON BAJANTE PARA RED SUBTERRÁNEA	\$ 9.118,14	\$ 9.118,14	\$ 9.118,14	\$ 9.118,14
INSTALACIÓN DE CANALIZACION SUBTERRÁNEA	\$ 5.103,80	\$ 5.103,80	\$ 5.103,80	\$ 5.103,80
INSTALACIÓN DE LOS POZOS SUBTERRÁNEOS	\$ 4.077,24	\$ 4.077,24	\$ 4.077,24	\$ 4.077,24
INSTALACIÓN DEL TENDIDO DE LA ACOMETIDA SUBTERRANEA, PUESTA EN MARCHALOS DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA CON PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	\$ 7.830,00	\$ 7.830,00	\$ 7.830,00	\$ 7.830,00
<b>SUBTOTAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>\$ 26.129,18</b>	<b>\$ 26.129,18</b>	<b>\$ 26.129,18</b>	<b>\$ 26.129,18</b>
<b>SUMA TOTAL DE INVERSION SEGÚN EL CASO DE TRANSFERENCIA</b>	<b>\$ 52.632,45</b>	<b>\$ 54.524,80</b>	<b>\$ 65.903,12</b>	<b>\$ 64.071,10</b>

Tabla 3.26 Presupuesto final para cada alterativa.

Notamos que la inversión total en los casos en los que se usan el Pad-mounted Gear es mayor que utilizando Recontador y Feed-thru Inserts, debido a que el equipo es más costoso y se recorre más distancia.

PORCENTAJE DE INVERSIÓN SI SE USA PAD-MOUNTED GEAR Y NO RECONECTADOR	
FIEC	20%
FICT	15%

Tabla 3.27 Porcentaje de inversión.

Hablando en términos de porcentaje se realiza un aumento de dinero de 20% para el caso FIEC y del 15% para de FICT.



## **Capítulo 4. Conclusiones**

---

## Capítulo 4. Conclusiones

---

4.1	Conclusiones.....	77
4.2	Recomendaciones.....	78

#### **4.1 Conclusiones**

- Conociendo los valores de las cotizaciones realizadas con las diferentes empresas distribuidoras de equipos para sistemas eléctricos de distribución, podemos asegurar con total seguridad que el costo de inversión total para los dos casos se diferencia por la distancia recorrida y por el precio, es decir, como en la primera alternativa sólo se va a alimentar una carga específica cerca del lugar donde se toma la segunda acometida, se tiene menos distancia recorrida, la cual implica menores gastos en construcción de zanjas y cajas de paso, aparte de que el precio del Reconectador es más bajo que el del Pad-mounted Gear.
- Si se desea abaratar costos y sólo garantizar el servicio de energía eléctrica a una carga específica, se toma la alternativa del uso de Reconectador y Feed-thru Inserts para la adaptación del transformador, así de esa manera, se asegura que el transformador del Laboratorio de Simulación en Tiempo Real y el banco de transformadores de las oficinas de Servicios informáticos estén siempre alimentados.
- Al emplear la opción del Reconectador y Feed-thru Inserts para la adaptación del transformador sólo se hace apertura y cierre en un solo lado de alimentación que es la alternativa, entonces al momento de que vuelva la energía por el lado del que normalmente se energiza, se puede presentar que en ciertas ocasiones se produzcan fluctuaciones de voltaje en las borneras del transformador. Para eso se tiene las protecciones respectivas que las atenúen en caso de aparecerse, pero se tendría que cambiar los fusibles de los codos que conectan a los conductores con las boneras en el que caso que se fundan.
- Con la implementación del Pad-mounted Gear se tiene un costo más alto de inversión, pero a su vez aumenta la confiabilidad del sistema de energía eléctrica de ESPOL, ya que se garantiza que las cargas conectadas a los cuartos de celdas de media tensión de FIEC y FICT queden energizadas en caso de que se presenta alguna falla y así poder tener una continuidad de servicio en estas dos facultades.

## **4.2 Recomendaciones**

- Al momento de realizar las cotizaciones de los elementos a utilizar en un proyecto eléctrico se debe de averiguar los precios con proveedores locales para que no haya problema con importaciones de equipos que harían que el costo de inversión sea más alto innecesariamente, además de que es mejor por cuestión de garantía y reparación al tenerlo de una empresa que exista dentro del país.
- El tema central del presente proyecto sirve como referencia para diseño de redes ligeramente malladas en otras redes de distribución, debido a que existen sitios que por ser tan extensos corren en riesgo de tener problemas de interrupción de servicio de energía eléctrica si poseen una topología radial en su red de distribución, además de presentar caídas de voltaje.
- En urbanizaciones, plazas comerciales, otros campus universitarios e incluso empresas o industrias donde se tiene grandes terrenos, los cuales comprendan algunos sitios en los que se desee continuidad de servicio se lo puede implementar para aumentar la confiabilidad del sistema.
- Con respecto a las industrias, es muy importante recalcar que, al implementar un sistema ligeramente mallado a su red de distribución, se aumenta la confiabilidad del sistema y tampoco se pierde producción, lo cual haría que la empresa no tenga pérdidas económicas por inactividad.
- Sería factible realizar una tercera fase de rediseño eléctrico de ESPOL en el cual se presente el sistema de control de las dos fases anteriores, es decir, uniendo la propuesta del término pasado del anillo abierto y la presente con el mallado ligero; así poder hacerla de una forma automática con todos los elementos coordinados.





## REFERENCIAS

---

## Referencias

---

- [1] A. P. PEÑA y D. T. MARCOS, «ANÁLISIS Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ESPOL,» 2019.
- [2] R. D. D. T. D. ENERGIA, «DISTRIBUCION,» ESTUDIANTES ANONIMOS, 2014. [En línea]. Available: <https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>.
- [3] P. CONCHA, «CLASIFICACION DE LAS REDES,» [En línea]. Available: [http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public\\_www/capitulo1/clasificacion\\_redes.html](http://patricioconcha.ubb.cl/eleduc/public_www/capitulo1/clasificacion_redes.html).
- [4] N. O. S. ZÚÑIGA, «SIMULADOR DE SISTEMAS DE POTENCIA PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN MALLADAS CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA,» 2014.
- [5] D. D. I. E.-T. D. L. ENERGÍA, «DESARROLLO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA».
- [6] N. O. S. ZUÑIGA, «DESARROLLO DE UN PROGRAMA PARA FLUJO DE POTENCIA PARA REDES DE DISTRIBUCION LIGERAMENTE MALLADAS Y GENERACION DISTRIBUIDA,» *INGENIUS*.
- [7] G. CELI, F.PILO, G. PISANO, V. ALLERANZA, R. CICORIA y A. IARIA, MESHED vs RADIAL MV DISTRIBUTION NETWORK IN PRESENCE OF LARGE AMOUNT OF DG, ITALIA, 2004.
- [8] C. N. D. E. -. U. D. N. GUAYAQUIL, «CONSTRUCCION DE LA ALIMENTADORA BIEN PUBLICO #4,» GUAYAQUIL, 2018.
- [9] L. E. C. DIAZ, Artist, *FOTOS DE DISTINTOS PUNTOS DE ESPOL Y LUGARES EN DONDE SE REALIZAN OBRAS CIVILES DE TOPOLOGIA SUBTERRÁNEA*. [Art]. ESPOL, 2019.
- [10] A. E. T. L. Q. N. SABER, «MI PODO,» [En línea]. Available: <https://www.mipodo.com/blog/diccionario/acometidas-electricas-que-necesitas-saber/>.
- [11] P. ELECTRICAS, «BLOG PROTECCIONES ELECTRICAS,» JUEVES 26 SEPTIEMBRE 2013. [En línea]. Available: <http://proteccioneselectricas101.blogspot.com/2013/09/proteccion-5051-tambien-conocida-como.html>.

- [12]C. D. F. SCHNEIDER, «CENTRO DE FORMACIÓN ELÉCTRICAS EN MT,» 2003.
- [13]M. GALARZA, D. NOBOA y I. J. GALLO, «PROYECTO DE INSTALACIONES SUBTERRANEAS DE MEDIA TENSION,» *ESPOL*, 2018.
- [14]ESPOL, «ZEDE DEL LITORAL,» [En línea]. Available: [https://www.google.com.ec/search?q=espol&tbn=isch&tbs=rimg:CUalJtBVziBLljg1bcWb6kwyZJnLDkdQuzh-ITXToPOOI2jQVu24CumJGHx16kl-9SMMk1\\_1ZeR8UjBE4adrSPKEJZioSCTVtxZvqTDLMETDG-IR17ReaKhIJmcsOR1C7OH4R\\_1rQzhrHrCuEqEgmVNdOg844jaBFeuZ4cOOW00CoSCdBW7bgK6YkYEdWCLPIEkS](https://www.google.com.ec/search?q=espol&tbn=isch&tbs=rimg:CUalJtBVziBLljg1bcWb6kwyZJnLDkdQuzh-ITXToPOOI2jQVu24CumJGHx16kl-9SMMk1_1ZeR8UjBE4adrSPKEJZioSCTVtxZvqTDLMETDG-IR17ReaKhIJmcsOR1C7OH4R_1rQzhrHrCuEqEgmVNdOg844jaBFeuZ4cOOW00CoSCdBW7bgK6YkYEdWCLPIEkS).
- [15]I. M. L. JORRO, «RED SUBTERRANEA EN MEDIA TENSIÓN,» ZARAGOZA, 2007.
- [16]T. CABLE, «CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE UN CABLE DE MEDIA TENSIÓN,» [En línea]. Available: <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/caracteristicas-constructivas-de-un-cable-de-media-tension/>.
- [17]INPROEL, «15kV & 25kV 200 Amp Feed-thru Insertss,» GUAYAQUIL.
- [18]A. DATASHEET, «OVR-15 de 15.5 kV three-phase vacuum recloser,» GUAYAQUIL.
- [19]INPROEL, «CONECTOR CODO FUSIBLE #2 LOADBREAK,» [En línea]. Available: <https://www.inproel.com/es/wp-content/uploads/2016/06/C548001.jpg>.
- [20]S. E. COMPANY, «PMH Pad-Mounted Gear,» [En línea]. Available: <https://www.sandc.com/en/products--services/products/pmh-pad-mounted-gear/>.
- [21]S. E. COMPANY, «Control de transferencia de fuente Micro-AT,» [En línea]. Available: <https://www.sandc.com/en/products--services/products/micro-at-source-transfer-control/>.
- [22]B. MT, CARTUCHO DE FUSIBLE DE MEDIA TENSION.
- [23]M. D. P. D. CONSTRUCCION, «OBRA CIVIL CONSTRUCCION DE REDES SUBTERRANEAS,» [En línea]. Available: <http://www.unidadesdepropiedad.com/pdf/2d/Subterraneeas/Manual%20de%20construccion.pdf>.

- [24]ELECTRICOS, «ELECTRICOS DE COLOMBIA,» [En línea]. Available: <https://electricosjs.com.co/producto/cruceta-galvanizada-de-1-5m-x-14-x-2-12/>.
- [25]P. A. C. P. D. S. D. (. ALVAREZ, «SECTOR ELECTRICIDAD,» BLOGGER.COM, 25 JUNIO 2016. [En línea]. Available: <http://www.sectorelectricidad.com/15424/proteccion-de-sobreintensidad-direccional-6767n/>.
- [26]J. S. R. Castaño, «Redes de Distribución de Energía Parte 4,» *Research Gate*, 2019.