



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO CAMPUS:**

**TUXTLA GUTIERREZ**

**DISEÑO DE LA SUBESTACIÓN DE ENLACE DE MT A OTRA EN MT DE  
BAJO COSTO EN EL MUNICIPIO “LARRÁINZAR”.**

**PRESENTA:**

**OSCAR ALEJANDRO LIÉVANO MORALES**

**No. CONTROL:**

**15270544**

**ASESOR INTERNO:**

**ING. JORGE DÍAZ HERNÁNDEZ**

**ASESOR EXTERNO:**

**ING. ORLANDO DE JESÚS JIMÉNEZ PÉREZ**

**EMPRESA:**

**(CFE) COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

**SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS**

## Agradecimientos

Gracias a mis padres que son los principales inversores de mis sueños, gracias a ellos por confiar y creer en mí en cada etapa de este proceso, gracias a mi madre por acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida, por sus sabias palabras que me guiaron siempre por el camino de la rectitud.

Gracias a mi hermana que a pesar de tener nuestras eventuales discusiones y malos encuentros, y de que tal vez seamos polos opuestos en ciertas cuestiones, ha sido una de las principales personas involucradas en la culminación de este gran logro.

Gracias a dios por permitirme tener a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión en mi vida, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermoso que es vivirla.

Gracias a mi asesor Ing. Orlando Jiménez de la empresa CFE y el Ing. Jorge Díaz Hernández por brindarme su valioso apoyo, por asesorarme en los temas que yo desconocía completamente, por facilitarme la información necesaria para el desarrollo de mi proyecto, pero principalmente por ayudarme a comprender el diseño y funcionamiento de las subestaciones eléctricas que fue vital para la finalización del mismo.

## Resumen

El presente proyecto de Residencia profesional se enfoca en todos los aspectos para el diseño de una Subestación Eléctrica, garantizando su correcto funcionamiento además de mejorar el suministro eléctrico del sistema de Distribución.

Dicho proyecto se desarrolló en base a Manuales de diseño y construcción de Subestaciones Eléctricas, textos fidedignos de Diseño de Subestaciones y Normativas vigentes.

La problemática se genera del incremento de los Sistemas de Distribución y mejorar las cargas de las subestaciones en operación actual.

Con la creación de la nueva Subestación Eléctrica en el municipio de Larrainzar en el estado de Chiapas, se atenderán diferentes problemáticas dentro del área de influencia.

Se proporcionan memorias de cálculo para obtener los distintos valores de importancia para selección de equipos para la subestación para garantizar la seguridad de la misma y la de sus operadores.

La nueva Subestación Eléctrica reducirá notablemente las pérdidas técnicas de energía eléctrica del sistema de distribución atendiendo la demanda actual e incremental, garantizando la calidad del suministro de energía para nuevos servicios y mejorando la confiabilidad del suministro en cuanto a su continuidad.



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
RESÚMEN .....	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....	7
1.-INTRODUCCIÓN.....	9
PROBLEMAS A RESOLVER.....	10
EMPRESA .....	11
1.1 ANTECEDENTES .....	13
1.2 ESTADO DEL ARTE .....	14
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.4 METODOLOGÍA .....	16
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	18
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	19
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	19
2.1.1 SUBESTACIÓN DE TRANSMISIÓN .....	20
2.1.2 SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA.....	20
2.1.3 SUBESTACIÓN DE CONMUTACIÓN .....	21
2.2 CONEXIONES EN SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	21
2.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	22
2.3.1 TRANSFORMADORES DE POTENCIA .....	22
2.3.2 AUTOTRANSFORMADORES.....	23
2.3.3 SISTEMAS DE JUEGOS DE BARRAS .....	24
2.3.4 INTERRUPTORES DE POTENCIA O DISYUNTORES .....	28
2.3.5 SECCIONADORES ELÉCTRICOS .....	29
2.3.6 AISLADORES ELÉCTRICOS .....	30
2.3.7 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN .....	30
2.3.8 SISTEMA DE CONTROL.....	32
2.3.9 SISTEMA DE TRANSMISIÓN PLC .....	33
2.4 DISEÑO DE PUESTA A TIERRA DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	34
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE PUESTAS A TIERRA.....	35
2.4.2 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.....	36
3. DESARROLLO .....	37
RESULTADOS .....	50



ANEXOS.....	69
PLANOS DE LA SUBESTACIÓN: .....	69
PLANO DE LA SUBESTACIÓN PLANTA .....	70
PLANO DE LA SUBESTACIÓN PLANTA (EQUIPOS).....	71
DIAGRAMA UNIFILAR DE LA SUBESTACIÓN.....	72
CONCLUSIÓN .....	73
RECOMENDACIONES .....	74
BIBLIOGRAFÍA .....	76
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	77

**Índice de Ilustraciones**

FIGURA 1 LOGO DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.....	11
FIGURA 2: ORGANIGRAMA DE CFE .....	11
FIGURA 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA.....	16
FIGURA 4: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA PARA EXTERIORES.....	19
FIGURA 5: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE TRANSMISIÓN .....	20
FIGURA 6: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA.....	20
FIGURA 7: SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE CONMUTACIÓN .....	21
FIGURA 8: TRANSFORMADOR DE POTENCIA .....	22
FIGURA 9: AUTOTRANSFORMADOR .....	23
FIGURA 10: SISTEMA DE JUEGO DE BARRAS DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA .....	24
FIGURA 11: INTERRUPTORES DE POTENCIA O DISYUNTORES.....	28
FIGURA 12: SECCIONADORES ELÉCTRICOS.....	29
FIGURA 13: AISLADORES ELÉCTRICOS .....	30
FIGURA 14: DISPOSITIVO DE CONTROL Y PROTECCIÓN .....	30
FIGURA 15: SISTEMA DE CONTROL DE SUBESTACIONES .....	32
FIGURA 16: PARTE DE UN PLC DE UNA SUBESTACIÓN .....	33
FIGURA 17: PUESTA A TIERRA DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	34
FIGURA 18: IMPORTANCIA DE LA PUESTA A TIERRA.....	35
FIGURA 19 RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS CON "MEGGER".....	36
FIGURA 20 CIRCUITO CRI-04060 SIN PROYECTO .....	40
FIGURA 21 CIRCUITO CRI-04060 CON PROYECTO.....	41
FIGURA 22 ZONA DE INFLUENCIA SIN CONDICIÓN DEL PROYECTO OPCIÓN 1 .....	45
FIGURA 23 ZONA DE INFLUENCIA CON CONDICIÓN DEL PROYECTO OPCIÓN 2.....	46
FIGURA 24 MODELO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA OPCIÓN 2 .....	49
FIGURA 25: DIAGRAMA DE SUBESTACIONES CON PROYECTO.....	51
FIGURA 26: DIAGRAMA GEOGRÁFICO CON PROYECTO.....	52
FIGURA 27: RESULTADOS DE FLUJO DE POTENCIA DE SYNERGEE DE LA CONDICIÓN ACTUAL .....	53
FIGURA 28: RESULTADOS DE FLUJOS DE POTENCIA EN SYNERGEE DE LA CONDICIÓN CON PROYECTO .....	54
FIGURA 29 CABLE DE COBRE .....	55
FIGURA 30 ELECTRODO PARA TIERRA .....	56
FIGURA 31 CONECTOR DE COBRE PARA S.E. ....	56



FIGURA 32 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA PARA LA NUEVA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA .....	65
FIGURA 33 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA PARA LA NUEVA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA .....	65
FIGURA 34 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA DEL CIRCUITO ALIMENTADOR CRI05020 EN 34 kV .....	66
FIGURA 35 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA DEL CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN LRZ04012 EN 13.2 kV .....	66
FIGURA 36 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA DEL CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN LRZ04022 EN 13.2 kV .....	67
FIGURA 37 LOCALIZACIÓN DE LA PROPUESTA CON EL CIRCUITO ALIMENTADOR CRI05020 Y LOS CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN LRZ04012 Y LRZ04022.....	67
FIGURA 38 MICROLIZACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA CON EL CIRCUITO ALIMENTADOR Y LOS CIRCUITOS DE DISTRIBUCIÓN .....	68
FIGURA 42 ROTULO DE ADVERTENCIA DE ALTA TENSIÓN .....	74
FIGURA 43 EQUIPO DE SEGURIDAD PARA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	74
FIGURA 44 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD .....	75
FIGURA 45 DISCO ANTI-FAUNA .....	75

### Índice de Tablas

TABLA 1 METAS FÍSICAS OPCIÓN 1 .....	39
TABLA 2 INDICADOR CON PROYECTO OPCIÓN 1 .....	42
TABLA 3 ELEMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO SIN PROYECTO.....	42
TABLA 4 ELEMENTOS DEL ÁREA ESTUDIO CON PROYECTO .....	42
TABLA 5 METAS FÍSICAS DEL PROYECTO .....	44
TABLA 6 IMPACTO DEL PROYECTO .....	47
TABLA 7 ELEMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO SIN PROYECTO.....	47
TABLA 8 ELEMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO CON PROYECTO .....	48
TABLA 10 LISTADO DE MATERIALES .....	57
TABLA 11 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES.....	60

## Listado de abreviaturas y símbolos

<b>AP</b>	Apartarrayos.
<b>A.T.</b>	Alta Tensión.
<b>BP</b>	Barra Principal.
<b>BT</b>	Barra de Transferencia.
<b>CB</b>	Cargador de Baterías.
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad.
<b>M.T.</b>	Media Tensión.
<b>C.A.</b>	Corriente Alterna.
<b>C.D.</b>	Corriente Directa.
<b>SE</b>	Subestación Eléctrica
<b>SF6</b>	Hexafluoruro de Azufre
<b>T</b>	Transformador
<b>TC</b>	Transformador de Corriente
<b>TP</b>	Transformador de Potencial
<b>MVA</b>	Megavoltampere.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>kV</b>	Kilovar. Medida del flujo de potencia reactiva que se produce cuando al tensión y la corriente no están totalmente sincronizados o en fase
<b>kW</b>	Kilowatt



<b>MWh</b>	Megawatt-hora
<b>MVA</b>	Megavolt-ampere
<b>A</b>	Ampere
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>PC</b>	Poste de concreto
<b>SAIFI</b>	Mide la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones en las instalaciones eléctricas de los sistemas eléctricos ante las fallas en los componentes, maniobras e indisponibilidades que afectan a los sistemas eléctricos, estas pueden ser propias (Sistemas de protección, diseño de redes, estado de instalaciones) y externos (Medio ambiente y terceros).
<b>SAIDI</b>	Mide el tiempo de duración de la interrupción, está relacionado con la ubicación de falla, con la intensidad de la falla y los recursos disponibles para la reposición como, cuadrillas, vehículos, materiales, medios de comunicación, etc.
<b>CAIDI</b>	Índice de duración de interrupción al cliente.
<b>CIRCUITO RADIAL</b>	Redes que se alimentan desde uno sólo de sus extremos, tienen la ventaja de ser muy sencillas en su instalación y en las protecciones eléctricas.





## 1.-Introducción

Todo diseño de Subestaciones Eléctricas, así como sus ampliaciones, surge de las necesidades del crecimiento de los Sistemas de Distribución o para mejorar las ya existentes como base fundamental del desarrollo de las comunidades y satisfacer demandas vitales.

Una subestación es un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema energético y garantizar la seguridad de este para asegurar un buen suministro de energía a los usuarios.

Este proyecto nace de la necesidad de satisfacer el suministro de energía eléctrica en el municipio de Larrainzar y comunidades aledañas a esta como lo son: Bochil, Buena Vista, Chalotoj, Pechtón, Linda Vista, El Carmen, etc., en el estado de Chiapas, por lo que se requiere la construcción de la subestación eléctrica para mejorar el servicio de energía eléctrica, así como reducir las pérdidas técnicas de energía.

Dicho proyecto se enfoca en todos los aspectos que se deben tomar a la hora de diseñar una subestación eléctrica, desde las condiciones climáticas, hasta el dimensionamiento del área de la subestación, proporcionando las memorias de cálculo realizadas para obtener los distintos valores de importancia a la hora de seleccionar los equipos de la subestación.

En el mismo, se tomarán en cuenta documentos aplicables como:

- NRF-003-CFE      Apartarrayos de Óxidos Metálicos para Subestaciones.
- NRF-005-CFE      Aisladores de Suspensión Sintéticos para Tensiones de 13.8 kV a 138 kV.
- NRF-006-CFE      Cuchillas para Líneas y Redes de Distribución.
- NRF-008-CFE      Boquillas de Porcelana para Equipo de Distribución con Tensiones de Operación de 38 kV y Menores.
- NRF-011-CFE      Sistema de Tierras para Plantas y Subestaciones Eléctricas.
- NRF-026-CFE      Transformadores de Potencial Inductivos para Sistemas Tensiones Nominales de 13.8 kV a 400 kV.
- NRF-028-CFE      Interruptores de Potencia para Media Tensión de 15 kV a 38 kV.
- NRF-029-CFE      Cortacircuitos Fusible de Distribución.

Entre otras, propias de CFE para realizar los cálculos correspondientes en conformidad con las mismas. También se tomarán en cuenta textos fidedignos en materia de diseño y construcción de subestaciones eléctricas. [1]

• [1] Dirección General de Distribución, “MANUAL CFE DCDSEBPE, DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN”, CFE, Ciudad de México, 2014.

## Problemas a resolver

El desarrollo de este proyecto de residencia tiene como fin resolver los siguientes problemas:

- Reducir las pérdidas técnicas de Energía Eléctrica.
- Reducir la caída de tensión dentro del área de influencia.
- Mejorar la calidad del suministro de Energía Eléctrica.
- Disminuir la sobrecarga de la subestación existente Chenalhó T1 y San Cristóbal T3.

## Empresa



Figura 1 Logo de la Comisión Federal de Electricidad

### Comisión Federal de Electricidad (CFE)

Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una Empresa Productiva del Estado, propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.

La Comisión Federal de Electricidad tiene como fin impulsar el desarrollo de actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales en términos de su objeto, generando valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano como su propietario.

En la ejecución de su objeto, la Comisión Federal de Electricidad debe actuar de manera transparente, honesta, eficiente, con sentido de equidad, y responsabilidad social y ambiental, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para minimizar los costos de la industria eléctrica en beneficio de la población y contribuir con ello al desarrollo nacional. [2]

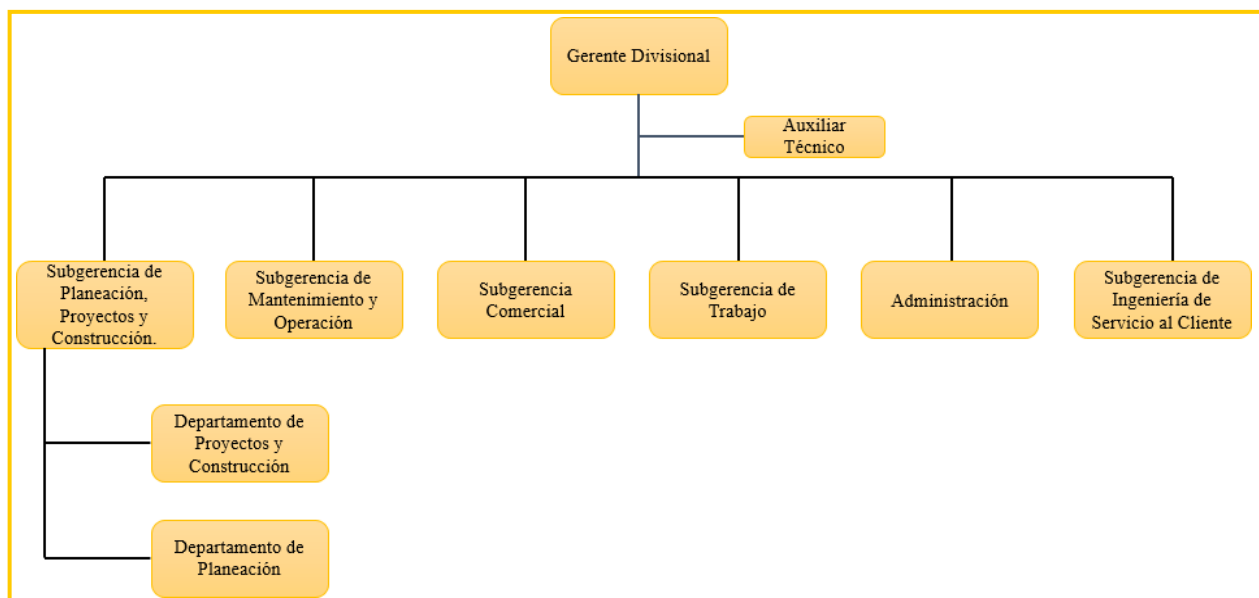


Figura 2: Organigrama de CFE

- [2] Comisión Federal de Electricidad (2019) Información Administrativa [Online]. Available: <http://www.cfe.mx>

## Oficina de Planeación, Proyectos y Construcción

Planear con criterios de rentabilidad el crecimiento de la infraestructura eléctrica a corto, mediano y largo plazo, asegurando la puesta en servicio de las obras necesarias con la oportunidad requerida, garantizando así, la confiabilidad de las redes generales de distribución, la disminución de las pérdidas técnicas y la capacidad instalada para hacer frente al crecimiento de la en el ámbito de la Empresa Productiva Subsidiaria Distribuidora de la División Sureste.

## Descripción de la empresa

### Misión.

Proporcionar el servicio público de energía eléctrica a nuestros clientes, con redes generales de distribución eficientes, de calidad, confiables y seguras, garantizando la rentabilidad y sustentabilidad de la empresa, en beneficio de la sociedad y el estado mexicano.

### Visión.

Ser líder en la distribución de energía eléctrica, estable, innovadora, y respetuosa del entorno con clientes satisfechos, colaboradores seguros e íntegros en un clima laboral que favorezca su liderazgo, desarrollo y calidad de vida.

### Valores.

- ✓ Innovación
- ✓ Responsabilidad social
- ✓ Excelencia en el servicio
- ✓ Competitividad
- ✓ Integridad
- ✓ Trabajo en equipo [2]

- [2] Comisión Federal de Electricidad (2019) Información Administrativa [Online]. Available: <http://www.cfe.mx>



## 1.1 Antecedentes

En la Zona de Distribución San Cristóbal, se tiene actualmente el área de influencia en el municipio de Larrainzar y comunidades aledañas a esta como lo son: Bochil, Buena Vista, Chalotoj, Pechtón, Linda Vista, El Carmen, de las más representativas, a las cuales se les suministra el servicio de energía eléctrica a través de las subestaciones San Cristóbal Oriente T2, San Cristóbal T3 y Chenalhó T1, esta última es una subestación reductora de 34.5 kV a 13.8 kV que depende de un alimentador de la Subestación Eléctrica San Cristóbal Oriente.

Derivado al crecimiento demográfico en el área de estudio, se presentará un incremento en el factor de utilización del transformador de potencia T3 de la subestación San Cristóbal al 108% y el transformador de potencia T1 de la subestación Chenalhó con un factor de utilización del 99.1% lo que ha provocado la saturación de los bancos de las subestaciones que atienden el suministro del servicio eléctrico; Aunado a lo anterior, al contar con transformadores sobrecargados y circuitos radiales, se compromete la confiabilidad del suministro eléctrico a los usuarios ante la eventualidad de fallas en el sistema.

Por lo anterior surge la necesidad de contar con una nueva subestación eléctrica para evitar la sobrecarga en los transformadores de potencia, así como también disminuir los altos niveles de pérdidas de energía en los circuitos actuales y mejorar la caída de tensión del suministro, contando con circuitos más cortos y con la posibilidad de enlace hacia otras fuentes de respaldo en caso de contingencia.

Las pérdidas se producen en los diferentes equipos y elementos que forman parte del sistema eléctrico de distribución, los cuales se presentan a través del conductor, transformadores, corrientes de Foucault que son las corrientes que disipan la energía en el metal en forma de calor, corrientes parásitas, etc. La caída de voltaje se da por la diferencia de potencial entre los extremos de cualquier conductor, semiconductor o aislante y que en el ramal Larrainzar se presentan notablemente por las distancias comprendidas en el circuito, por lo que es necesario diseñar la subestación de bajo costo en el municipio Larrainzar por que la geografía del sitio no permite construir torres de subtransmisión y la inversión por lo consiguiente será menor, todo esto para mejorar la calidad del suministro de energía y reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica que se ven reflejadas en costos y beneficios para CFE DISTRIBUCIÓN.



## 1.2 Estado del Arte

° En 1888 tras la problemática de transmisión a distancia, George Westinghouse inicio la aplicación de máquinas de corriente alterna (C.A), lo que permitió el inicio de la fabricación de transformadores en la fábrica de “Transformadores Stanley”, que fue realmente el principio de los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica y la aparición de lo que se conoce como Subestaciones Eléctricas. [3]

° Los aparatos eléctricos generan calor al entrar en funcionamiento debido a la circulación de la corriente eléctrica a través de él , la energía cinética de los electrones, al circular se transforma en calor y eleva la temperatura del conductor lo que genera pérdidas técnicas en el sistema; a esto le llamamos Ley de Joule por el físico inglés James Prescott Joule quien descubrió este fenómeno eléctrico. [4]

° En el año 1835 Joseph Henry inventó el relevador electromecánico el cual poseía contactos que abrían o cerraban de acuerdo a la corriente que circula por él. Para esa época el relevador de Henry era utilizado para la telegrafía y no tenía usos para la protección de sistemas eléctricos. [4]

° Entre los avances particulares más recientes que se han desarrollado para los diseños de subestaciones se encuentra la investigación A DISTRIBUTED PMU FOR ELECTRICAL SUBSTATIONS WITH WIRELESS REDUNDANT PROCESS BUS realizada Paolo Costello, miembro de la IEEE, en donde se especifica la importancia de la redundancia en los lazos de comunicación como método para aumentar la disponibilidad de una subestación eléctrica. [4]

° En el municipio de Chenalhó en el año 2000 la CFE diseñó y construyó una Subestación Eléctrica de bajo costo, obteniendo resultados muy satisfactorios en cuestión de reducción de pérdidas técnicas de energía, disminución de sobre carga de los circuitos asegurando la calidad de la energía para los usuarios viéndose reflejada en costos beneficios para CFE DISTRIBUCION. [5]

° La subestación eléctrica de bajo costo en el municipio de Larrainzar en el estado de Chiapas tiene como objetivo principal satisfacer el suministro de energía eléctrica para el municipio de Larrainzar y comunidades aledañas, así como también reducir pérdidas técnicas de energía eléctrica garantizando la calidad de la energía suministrada a los usuarios, siendo vital para el crecimiento de los sistemas de distribución en la zona.

- [3] G. Enríquez Harper. *Elementos de diseño de Subestaciones Eléctricas*. 2da. Edición. Limusa Noriega Editores, 2013.
- [4] (2014, Mayo 26). [Online]. Available: <http://www.lahistoriadelaelectricidad4b.blogspot.com>.
- [5] Comisión Federal de Electricidad. (2019). [Online]. Available: <http://Inventario-war/instalacion/subestacion/index.jsf>



### 1.3 Objetivos

**“Establecer los criterios técnicos para proyectar y diseñar subestaciones eléctricas de distribución de bajo perfil y así reducir las pérdidas técnicas de Energía Eléctrica”.**

Con la creación de la nueva subestación se evitará la sobrecarga en los transformadores de potencia que actualmente suministran el servicio en el área de estudio, se reducirán las pérdidas técnicas de energía eléctrica, se mejorará la calidad del suministro y se incrementará la confiabilidad del sistema eléctrico.

#### **Objetivos específicos:**

- Establecer los criterios técnicos para proyectar y diseñar la Subestación.
- Identificar y verificar los circuitos de trabajo.
- Elaboración del plano de la red eléctrica en media tensión.
- Modificar y establecer los niveles de tensión.
- Reducir pérdidas técnicas de Energía eléctrica.
- Mejorar la calidad de la energía.
- Reconfiguración de los circuitos de M.T.
- Crecimiento del Sistema de Distribución.
- Disminuir la sobrecarga de la subestación existente Chenalhó T1 al 99.1% y San Cristóbal T3 al 108.4%.
- Satisfacer la demanda energética para nuevos servicios.

## 1.4 Metodología

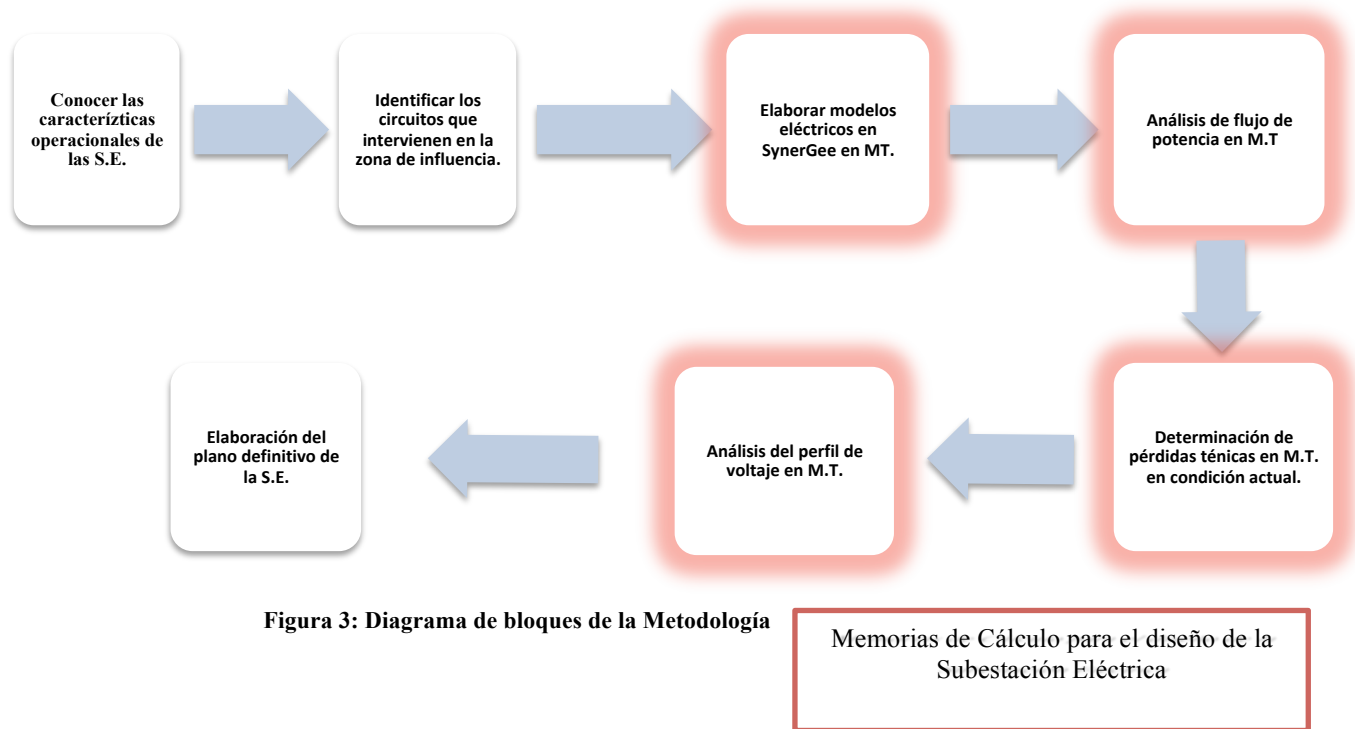


Figura 3: Diagrama de bloques de la Metodología

### **Características Operacionales de las S.E.**

Se investigarán las características operacionales de la subestación a crear, se indagarán las necesidades, así como también las dimensiones de la misma para satisfacer las necesidades del usuario.

### **Identificar los circuitos que intervienen en la zona de influencia.**

Se identificará cada uno de los circuitos que estarán interviniendo en la nueva subestación a crear.

### **Elaboración de los modelos eléctricos en SynerGee MT.**

Se realizarán los modelos eléctricos en SynerGee que es un simulador para analizar y simular diferentes escenarios eléctricos, todo esto para obtener la mejor y más adecuada configuración de los circuitos de Media Tensión.





**Análisis de flujo de potencia en MT.**

Se realizará un análisis profundo al sistema de potencia, todo esto para determinar la mejor operación del nuevo sistema de potencia.

**Determinación de pérdidas técnicas de energía en MT en condición actual.**

Se determinarán las pérdidas en Media tensión en condición actual de acuerdo a las características físicas de los componentes de la red que son los equipos relacionados con el proceso de generación, transmisión, subtransmisión y distribución de la energía.

**Análisis del perfil de voltaje en MT.**

Se analizarán 2 propuestas que se estudiarán por medio del sistema SynerGee para el cálculo de la demanda máxima de cada voltaje en MT.

**Elaboración del plano definitivo.**

Se elaborará el plano definitivo para la “Subestación de MT de Bajo Costo en Larrainzar” , conociendo previamente todas las necesidades del usuario así como también las características operacionales de la misma.



## **1.5 Justificación**

Ante la necesidad de mejorar la distribución y calidad del suministro de energía eléctrica en la zona, es necesaria la construcción de la Subestación de bajo costo en el municipio de Larrainzar en el Estado de Chiapas, la cual aportará el suministro eléctrico al municipio antes mencionado y comunidades aledañas, satisfaciendo demandas vitales para el desarrollo de las comunidades además de incrementar el sistema de distribución.

De acuerdo al pronóstico de demanda del mercado eléctrico de distribución, se tiene que para el año 2020 el transformador de potencia T3 de 20 MVA de capacidad de la Subestación San Cristóbal presentará una demanda de 21.7 MVA con lo cual llegará a un factor de utilización del 108.4% y para el transformador de potencia T1 de 6.25 MVA de capacidad de la Subestación Chenalhó se tendrá una demanda de 5.6 MVA alcanzando un factor de utilización del 99.1%.

El circuito CRI04060 para el año 2020 de acuerdo al pronóstico de distribución, presenta una demanda de 7477 kW y de acuerdo a los estudios en de flujos de potencia en el sistema SynerGee presenta el 6.56% de pérdidas técnicas, equivalente a 2,535,511.09 MWh/Año y una caída de tensión del 27.98% y el circuito CHE04032 para el año 2020 de acuerdo al pronóstico de distribución, presenta una demanda de 4383 kW y de acuerdo a los estudios en de flujos de potencia en SynerGee presenta el 4.71% de pérdidas técnicas, equivalente a 1,013.4 MWh/Año y una caída de tensión del 14%, lo que hace necesario construir la obra necesaria para mejorar la calidad del suministro a través del circuito, considerando la construcción de la S.E. Larrainzar de 6.25 MVA con relación de transformación 34.5/13.8 kV-0/2 A, conectada al circuito CRI05020 en 34 kV.

Habiendo realizado el análisis del proyecto se encuentra viable la construcción de la nueva subestación eléctrica para disminuir notablemente la sobre carga en los transformadores de potencia de las subestaciones San Cristóbal T3 y Chenalhó T1, que intervienen en la zona de influencia además de beneficios para nuevos servicios satisfaciendo la demanda energética de ellos, reduciendo pérdidas técnicas de energía eléctrica que se ve reflejada en decrementos de energía no servida mejorando costos y beneficios para CFE.

Con la puesta en servicio de la Subestación Eléctrica, se garantiza la confiabilidad de las redes de distribución, la disminución de pérdidas técnicas y la capacidad instalada para hacer frente al crecimiento del Sistema de Distribución y así ofrecer calidad de energía a los usuarios.



## 2. Fundamento Teórico

Una subestación eléctrica es parte de un sistema de generación, transmisión y distribución eléctrica, donde la tensión es transformada de baja a alta tensión y viceversa, en adición a otras importantes funciones. La potencia eléctrica habrá de fluir a través de varias subestaciones desde las centrales generadoras hasta los consumidores finales, sufriendo varios cambios en su nivel de tensión.

La palabra subestación proviene de los días en los que el sistema de distribución no estaba constituido por una red interconectada, sino por sistemas radiales aislados. Las primeras subestaciones estaban conectadas a una sola estación generadora.



**Figura 4: Subestación Eléctrica para exteriores**

### 2.1 Clasificación de las Subestaciones Eléctricas

Dependiendo del uso que se les asigne en los sistemas eléctricos, las subestaciones eléctricas de potencia se clasifican en tres tipos:

- 2.1.1 Subestaciones Transmisión.
- 2.1.2 Subestaciones Distribución Primaria.
- 2.1.3 Subestaciones de Conmutación. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

### 2.1.1 Subestación de Transmisión



**Figura 5: Subestación Eléctrica de Transmisión**

Una subestación de transmisión conecta dos o más líneas de transmisión. El caso más simple es aquel en el que todas las líneas tienen la misma tensión. Las subestaciones poseen interruptores de potencia que conectan o desconectan las redes en condiciones de falla o para mantenimiento. Los niveles de tensión de transmisión más utilizados son 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 500 kV, 700 kV, 1000 kV.

Una subestación de transmisión puede estar equipada con transformadores que convierten la tensión a dos niveles diferentes de transmisión o distribución, dispositivos de control de tensión y de corrección de factor de potencia, tales como capacitores, reactores o compensadores estáticos de reactivos, y equipos tales como transformadores de desfase para controlar el flujo de potencia entre dos sistemas de potencia adyacentes.

### 2.1.2 Subestación de Distribución Primaria



**Figura 6: Subestación Eléctrica de Distribución Primaria**

Una subestación de distribución transfiere potencia eléctrica del sistema de transmisión al sistema de distribución de un área específica. No es económico ni seguro suministrar electricidad a los [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

consumidores a partir de la red de transmisión, a menos que dichos consumidores posean una capacidad instalada de alrededor de 1.0 MVA. La entrada a la subestación de distribución consiste de uno o más circuitos de transmisión. La salida consiste de uno o más alimentadores de distribución. Estos alimentadores de media tensión son distribuidos sobre estructuras aéreas, a lo largo de las calles de la ciudad; si bien, en algunos casos se instalan sistemas soterrados de distribución.

En adición a cambiar el nivel de tensión, el trabajo de las subestaciones de distribución consiste en aislar fallas ya sea en el sistema de transmisión o de distribución. También son utilizadas para regular tensión por medio de la inyección de reactivos a través de bancos de capacitores.

### 2.1.3 Subestación de Conmutación



**Figura 7: Subestación Eléctrica de Conmutación**

Existe un tercer tipo de subestación que se denomina Subestación de Conmutación (“Switching Substation”) que se caracteriza por no tener transformadores, operando por tanto a una sola tensión de transmisión. Las subestaciones de Conmutación se utilizan como nodos del sistema para recolección y distribución de energía del sistema.

## 2.2 Conexiones en Subestaciones de Transmisión y Distribución

Los circuitos de las subestaciones de transmisión y distribución se pueden dividir en dos grandes grupos, a saber:

1. Circuitos Principales
2. Circuitos Auxiliares

Los circuitos principales son los que se utilizan para transformación y distribución de la energía eléctrica. Las conexiones de los circuitos principales se conocen como sistemas de barras de la subestación eléctrica. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

Los circuitos auxiliares se emplean para señalización, medición, control y protección de los diferentes componentes de los sistemas de potencia.

### 2.3 Componentes principales de las Subestaciones Eléctricas

Como se ha establecido, las subestaciones eléctricas son estaciones de transformación y distribución de la energía eléctrica que se produce en los centros de generación y se transmite a través de las redes de transporte de los sistemas eléctricos de potencia. Para poder cumplir sus funciones las subestaciones eléctricas poseen una serie de equipos, dispositivos y sistemas, los cuales se señalan a continuación:

- 2.3.1 Transformadores de Potencia.
- 2.3.2 Autotransformadores.
- 2.3.3 Sistemas de Juegos de Barras.
- 2.3.4 Interruptores de Potencia o Disyuntores.
- 2.3.5 Seccionadores Eléctricos.
- 2.3.6 Aisladores Eléctricos.
- 2.3.7 Dispositivos de Control y Protección.
- 2.3.8 Sistema de Control.
- 2.3.9 Sistema de Transmisión PLC.

#### 2.3.1 Transformadores de Potencia



Figura 8: Transformador de Potencia

Los transformadores de potencia son de dos tipos principales:

- Transformadores Principales de las Unidades Generadoras: Elevan la tensión desde el nivel de generación al de transmisión.
- Transformadores de Distribución Primaria: Reducen la tensión desde el nivel de transmisión al valor de distribución primaria. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

## Transformadores Potenciales de Energía

Los Transformadores Potenciales de Excitación, también denominados Transformadores Potenciales de Energía (PPT's - Potential Power Transformers) constituyen la fuente de tensión del sistema de excitación, y son diseñados para que sean capaces de proveer toda la energía de excitación del campo del generador en la condición de no carga del mismo.

## Transformadores de Corriente Saturable

Los Transformadores de Corriente Saturable (SCT's - Saturable Current Transformers) representan la fuente de corriente del sistema estático y proveen energía de excitación cuando se producen cambios de carga en el generador; asumiendo la plena carga de excitación bajo las condiciones de cortocircuito en el mismo, o en el sistema al cual sirve. El devanado de control de los SCT tiene como misión controlar la salida de estos, en función de las variaciones de carga del generador. Este devanado es alimentado a partir de los reguladores de tensión de Corriente Alterna y Corriente Continua.

### 2.3.2 Autotransformadores



**Figura 9: Autotransformador**

Un Autotransformador es transformador especial que consiste de un único devanado enrollado en torno a un núcleo magnético. Para poder efectuar su función de transformación el autotransformador debe poseer tres puntos de derivación, para crear los terminales de alta y baja tensión.

El autotransformador posee acoplamiento magnético, así como conexión física o galvánica entre el devanado común y el devanado serie. Esto determina que el autotransformador sea más pequeño que un transformador de las mismas características de potencia y tensiones, Su aplicación es muy común para interconexión de subestaciones a dos niveles de tensión diferentes, tales como 69 kV y 138 kV, 115 kV y 230 kV, entre otras. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

### 2.3.3 Sistemas de Juegos de Barras



**Figura 10: Sistema de Juego de Barras de una Subestación Eléctrica**

Las subestaciones de transmisión y distribución utilizan diferentes tipos de arreglos para conectar los circuitos principales. Las conexiones más empleadas son las siguientes:

- Juego de Barras Sencillo
- Juego de Barras Doble
- Juego de Barras Principal y de Transferencia
- Juego de Barras Triple
- Juego de Barras en Anillo
- Juego de Barras Doble con Arreglo de Disyuntor y Medio

#### \* Juego de Barras Sencillo

Es el más simple y económico de los sistemas de conexiones empleados en subestaciones de transmisión y distribución. Este tipo de arreglo se utiliza en sistemas de media y baja potencia, en los que se permite desenergizar ciertos circuitos por un tiempo determinado.

Este arreglo presenta las ventajas siguientes:

- \*Mayor continuidad de servicio.
- \*Facilidad de mantenimiento de cada porción de barras.

Las desventajas enunciadas al juego de barras sencillo pueden ser referidas a cada sección de las barras divididas. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.





### \*Juego de Barras Doble

Con el sistema de juego de barras doble cada circuito puede alimentarse independientemente a partir de cada uno de los dos juegos de barras existentes.

En el Sistema de Juego de Barras Doble normalmente una sola de las barras está energizada. Para energizar la otra barra se utiliza un disyuntor conocido como disyuntor de acoplamiento de barras. El sistema de juego de barras doble facilita el mantenimiento de cada juego de barras, conservando la continuidad del servicio en los alimentadores.

### \* Juego de Barras Doble con Doble Disyuntor

Otro sistema de juego de barras doble, que provee continuidad de servicio y facilidad de mantenimiento a los disyuntores de línea, es el sistema de juego de barras doble con dobles disyuntores. Este sistema es un tanto costoso, empleándose generalmente en instalaciones de gran potencia.

Este arreglo de barras opera de la manera siguiente:

1. Los disyuntores de alimentación a las barras están ambos cerrados, con lo cual se energizan ambas barras.
2. De los disyuntores de los alimentadores, uno de estos está cerrado (disyuntor de operación), y el otro permanece abierto (disyuntor en espera), pero con sus seccionadores de línea cerrados, para entrar en operación cuando así se requiera.
3. Si se produce una falla en un alimentador de carga, el sistema de protección actúa para sacar de servicio el disyuntor de operación, y transfiriendo la carga al disyuntor de espera. Si la falla persiste, se disparara también el disyuntor de espera, actuando como una operación de re-cierre.

### \*Juego de Barras Principal y de Transferencia

Consiste fundamentalmente en una barra trifásica principal energizada, y una barra trifásica de transferencia, la cual permanece en espera, para cuando se requiera transferir la carga a través de ella.

Con este arreglo se pueden realizar trabajos de revisión y mantenimiento en cualquier disyuntor, sin dejar fuera de servicio el alimentador o circuito correspondiente, ni la protección del mismo. Este sistema opera con la barra principal energizada, y la carga en cada línea es alimentada a través de los disyuntores de línea. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.



Para sacar de operación un disyuntor de campo, pero dejando dicho campo en funcionamiento, se procede como sigue:

- 1) Cerrar seccionadores de transferencia.
- 2) Cerrar disyuntor de transferencia.
- 3) Cerrar seccionador en derivación.
- 4) Abrir disyuntor de campo.
- 5) Abrir seccionadores de barra y de línea.

Cuando se realiza esta secuencia, se transfiere manual o automáticamente la protección del disyuntor de campo que se considere al disyuntor de transferencia.

Para restablecer la operación del disyuntor de campo, se debe seguir la secuencia siguiente:

- 1) Cerrar los seccionadores de barra y de línea correspondientes.
- 2) Cerrar el disyuntor de campo.
- 3) Abrir seccionador en derivación.
- 4) Abrir disyuntor de transferencia.
- 5) Abrir los seccionadores de transferencia.

Cuando se realiza esta secuencia, se re-transfiere, manual o automáticamente, la protección del disyuntor de transferencia al disyuntor de campo.

Esta solución es muy utilizada en instalaciones con potencia de operación medianamente altas; y, como se señaló anteriormente, en nuestro sistema eléctrico es el sistema de juego de barras más utilizado.

#### \*Juego de Barras Triple

En subestaciones eléctricas para muy alta potencia, se suelen emplear con cierta frecuencia el Sistema de Juego de Barras Triple, el cual consta de dos juegos de barras principales y un juego de barras de transferencia.

Esta solución permite una gran flexibilidad en lo que respecta a las labores de revisión y mantenimiento. Al igual que en el caso de Juego de Barras Principal, la protección de la línea del disyuntor a considerar es transferida al disyuntor de transferencia, al sacar de operación el disyuntor de línea correspondiente.

Dado que el sistema de juego de barras triple es una combinación del sistema de juego de barras doble y del juego de barras principal y transferencia, presenta ventajas comunes a ambos sistemas:

- Facilidad de mantenimiento de los tres juegos de barras.
- Facilidad de mantenimiento de los disyuntores.
- Mayor continuidad en el servicio. [6]

• [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.



### \*Juego de Barras en Anillo

El Sistema de Juego de Barras en Anillo se considera un diseño intermedio entre el juego de barras simple y el juego de barras doble, tomando en consideración costos y continuidad de servicio. Este sistema presenta las ventajas siguientes:

- 1.-La falla de un disyuntor del anillo no interrumpe la continuidad del servicio, dado que el juego de barras se convierte en un juego de barras sencillo.
  - 2.-El anillo se puede dividir en dos juegos de barras simples, facilitando con esto las labores de mantenimiento e inspección.
  - 3.-Se puede aislar una porción de la barra para fines de inspección y mantenimiento, conservando las barras restantes energizadas.
- Ahora bien, presenta las desventajas siguientes:

- La desconexión simultanea de dos disyuntores consecutivos del anillo, podría dejar fuera de servicio más de una línea.
- El sistema de medición y protección es más complejo.
- Para realizar cualquier trabajo en las barras es necesario sacar de servicio esta porción del anillo y sus alimentadores correspondientes.
- El mantenimiento de un disyuntor de línea supone sacar de operación el alimentador correspondiente.

### \* Juego de Barras Doble con Arreglo de Disyuntor y Medio

Este tipo de arreglo consta de dos juegos de barras principales las cuales, en condiciones normales de operación, siempre están energizadas. Por cada 2 circuitos convergentes, hay 3 disyuntores; es decir, un disyuntor y medio por cada alimentador. De ahí la denominación de “Disyuntor y Medio” En condiciones normales de operación todos los disyuntores están cerrados, y ambas barras principales están energizadas. Este arreglo de barras presenta un alto grado de confiabilidad y seguridad, bajo condiciones de fallos en los disyuntores de potencia, en las barras o en los circuitos que se derivan de dicha subestación. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

Presenta las ventajas siguientes:

- 1.-Facilidad de mantenimiento de las barras de la subestación, dado que podemos sacar de servicio una cualquiera de dichas barras, conservando la operación de todos los campos de la subestación.
- 2.-Facilidad de mantenimiento a cualquiera de los disyuntores de la subestación, sin afectar la operación de los circuitos que se interconectan con la subestación.

Sus mayores desventajas están relacionadas con los aspectos siguientes:

1. Esquema de protección más complejo que en otras subestaciones con características similares.
2. Inversión inicial un tanto elevada, por la multiplicidad de disyuntores y seccionadores requeridos.

#### 2.3.4 Interruptores de Potencia o Disyuntores



**Figura 11: Interruptores de Potencia o Disyuntores**

Los Interruptores de Potencia, conocidos también como Disyuntores, son equipos diseñados y construidos para que sean capaces de interrumpir o conectar circuitos bajo la condición de carga. Esta operación se puede realizar a voluntad o automáticamente, para proteger el equipo o sistema que se considere contra una falla en el mismo.

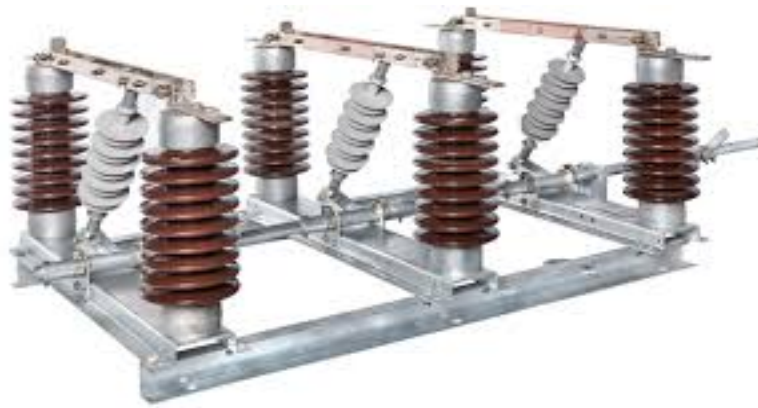
Al iniciarse la interrupción o el cierre del interruptor, se forma entre los contactos del mismo un arco cuya magnitud depende de la tensión de operación del interruptor, de la potencia transmitida y de la distancia entre dichos contactos. Para interruptores de alta potencia se hace necesario atenuar el efecto de dicho arco, para así evitar el deterioro de las caras de los contactos de dichos interruptores. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

Los interruptores de potencia, dependiendo de su tecnología, se clasifica como se indica a continuación:

1. Interruptores al Vacío.
2. Interruptores en Aceite.
3. Interruptores en Hexafluoruro de Azufre.

### 2.3.5 Seccionadores Eléctricos



**Figura 12: Seccionadores Eléctricos**

Los seccionadores, conocidos también como cuchillas, son dispositivos de desconexión de determinados equipos en una subestación eléctrica. Dependiendo de su aplicación se denominan seccionadores de línea, de barras y de aterrizaje. Su característica principal es que deben ser operados sin carga.

Los seccionadores se utilizan para la apertura y cierre de circuitos eléctricos casi sin carga. Durante esta maniobra pueden cortar corrientes despreciables o corrientes superiores si no se produce ningún cambio importante de tensión entre los terminales durante el proceso de corte. Sin embargo, la función verdadera de los seccionadores, es establecer una distancia de seccionamiento para poder trabajar de manera segura en los equipos que hayan sido “aislados” por el seccionador. Por este motivo la distancia de seccionamiento debe satisfacer grandes exigencias en cuanto a la fiabilidad, visibilidad y rigidez eléctrica. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

### 2.3.6 Aisladores Eléctricos



**Figura 13: Aisladores Eléctricos**

Las líneas eléctricas aéreas están constituidas, generalmente, por conductores sin recubrimiento; es decir, por conductores desnudos. Por tanto, se hace necesario utilizar un elemento que sirva de soporte a dichas líneas y que a la vez posea excelentes propiedades dieléctricas, para aislar las líneas eléctricas de las estructuras de soporte que las sostienen (postes, torres, etc.).

Este elemento recibe el nombre de aislador eléctrico, y su misión fundamental consiste en evitar el paso de la corriente desde el conductor a la estructura de soporte. La unión del aislador a la estructura de soporte se efectúa por medio de piezas metálicas conocidas como herrajes.

### 2.3.7 Dispositivos de Control y Protección



**Figura 14: Dispositivo de Control y Protección**

Los sistemas de control convencional se encuentran conformados por equipos y componentes integrados como se ha realizado en la forma tradicional. Esto es, utilizando cables multiconductores, relés auxiliares, relés repetidores, relés de disparo y bloqueo, etc. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.



Existen los equipos primarios del patio (nivel de campo), el cableado de interconexión y los equipos de procesamiento de información, en este caso el cuarto de relés y/o el de control.

### **Ingeniería:**

En este tipo de sistemas de control, la ingeniería corresponde a la selección y la elaboración de los planos para que la bahía funcione como un todo, esto en lo correspondiente a protección, medición, control y supervisión.

Al realizar la ingeniería se debe tomar en cuenta la gran cantidad de planos de cableados y funcionales de las bahías y celdas correspondientes al esquema de la subestación a ser trabajada.

Estos planos, que son generados en esta fase, corresponden a los de los equipos exteriores, tableros de agrupamiento de señales y los tableros que se encuentren dispuestos en la caseta de relés o caseta de mando tales como: Control, Protecciones, Mando y Señalización.

### **Montaje:**

Con respecto al montaje se debe tomar en cuenta que este tópico contempla a los equipos primarios, los armarios de agrupamiento de señales y los tableros a ser instalados en la caseta de relés o caseta de mando, sea el caso que aplicase.

La cantidad de equipos, armarios y tableros va a estar definido por el esquema de la subestación a ser implementada, los mismos se unirán a través de cables multiconductores, en canales de cables, con el fin de realizar el tendido de toda la información concerniente en lo que respecta a las diferentes funciones tales como: Protecciones, Control, Señalización y Alarmas.

### **Cableado:**

Está actualmente establecido que uno de los principales objetivos al instalar un sistema moderno de control es la reducción de costos de cableado entre los diferentes equipos de patio y el nivel de control de subestación.

En una subestación construida con tecnología de control convencional se deben instalar entre 200 y 500 señales por bahías. En una instalación típica de 400kV con dos bahías de transformadores y cuatro bahías de línea, pueden haber hasta 3000 conexiones entre los gabinetes de patio, y la sala de control y protecciones. Dichos enlaces sufren de los factores ambientales, y en el caso de instalaciones a la intemperie están expuestas a riesgos de deterioro serios durante el ciclo de vida de los equipos primarios.

En estos casos, las fallas en los cables implican en la mayoría de los casos el reemplazo completo del cableado. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

### 2.3.8 Sistema de Control



**Figura 15: Sistema de control de Subestaciones**

El sistema de control ofrece la posibilidad de maniobrar los equipos y aparatos de la subestación, para esto debe saber en todo momento como está cada uno de los equipos (abierto o cerrado) y además debe ser informado antes de que cualquier dispositivo eléctrico sea maniobrado. Al diseñarlo los principales objetivos son la confianza, seguridad y reducción de costes.

Por lo general, desde el punto de vista de control una subestación eléctrica está dividida en tres niveles, en función de las necesidades de operación particulares.

**El primer nivel** está compuesto por equipos primarios (seccionadores, interruptores, transformadores de corriente y tensión), se denomina nivel de campo.

El control de este nivel reside en el propio mando del interruptor y seccionador y en la lógica de control implementada en el propio gabinete de mando. En este nivel también se encuentran los canales de comunicación encargados de establecer el intercambio de datos y ordenes entre el control digital y los equipos de alta tensión. Estos canales están conformados por cables de cobre multiconductores que deben estar diseñados de manera que establezcan una barrera contra las interferencias electromagnéticas, deben contar con el aislamiento galvánico y el blindaje apropiado. Esto se logra generalmente mediante el uso de cables de baja tensión apantallados.

**El segundo nivel** se denomina nivel de control de posición, formado por elementos intermedios como lo son: armarios de reagrupamiento, unidades de control de posición (unidades de control digital o control convencional mediante selectores, pulsadores y relés auxiliares, dependiendo de la tecnología de control empleada) y todos aquellos elementos encargados de las funciones asociadas al conjunto de la posición, tales como: control, supervisión, enclavamientos, regulación de tensión, protección y medida. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.



**El tercer nivel**, es el nivel de control de subestación, en el cual se realizan las tareas de supervisión, maniobra y control del conjunto de toda la subestación incluyendo todas las posiciones de alta, media y baja tensión. A este nivel los operadores de la subestación ordenan las maniobras de apertura y cierre de interruptores y/o seccionadores, se vigila el estado de los parámetros propios del sistema, tales como tensiones, corrientes, potencias, etc.

### 2.3.9 Sistema de Transmisión PLC



**Figura 16: Parte de un PLC de una Subestación**

Producto de la necesidad de intercambio de informaciones entre las diferentes estaciones y subestaciones del sistema eléctrico, a través de las redes de transporte, se desarrolló el “Sistema de Onda Portadora por Línea de Alta Tensión”, mejor conocido como Sistema de Transmisión PLC, por sus siglas en inglés, “Power Line Carrier”, el cual hace uso de la misma red de transmisión como medio de telecomunicación.

Este sistema PLC es el método más utilizado para comunicación entre subestaciones, y es utilizado para protección eléctrica, voz y comunicación de data. Se considera que es uno de los sistemas más económicos, confiables y versátiles. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

## 2.4 Diseño de Puesta a Tierra de Subestaciones Eléctricas

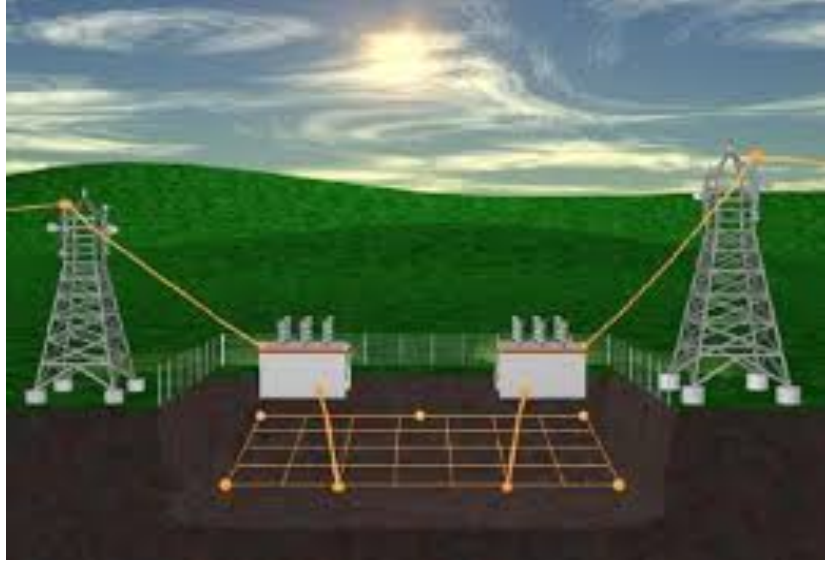


Figura 17: Puesta a tierra de una Subestación Eléctrica

En general, los sistemas de puesta a tierra permiten absorber las sobretensiones, ya sea de origen interno o externo, contribuyendo a controlar los efectos resultantes de dichas sobretensiones. Todo sistema de puesta a tierra debe servir a los propósitos siguientes:

- 1) Seguridad personal.
- 2) Minimizar daños en equipos.
- 3) Controlar las sobretensiones durante los fenómenos transitorios.
- 4) Disipación de las descargas atmosféricas.
- 5) Operación correcta de los dispositivos de protección.

Para poder cumplir cabalmente con las funciones mencionadas, el sistema de puesta a tierra debe proporcionar una trayectoria a tierra de baja resistencia. Debido a la naturaleza cambiante de las características de los suelos, en términos de las variaciones de la resistividad de los mismos, ante cambios de humedad y temperatura, el diseño de los sistemas de puesta a tierra debe ser conservador por naturaleza. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

Un sistema de puesta a tierra efectivo para una subestación eléctrica, consta de los siguientes elementos:

1. Electrodo de puesta a tierra, los cuales son construidos en forma de varillas de cobre con alma de acero, y de dimensiones tales como 1/2" x 6', 3/4" x 7' y 5/8" x 8', entre otras.
2. Cables desnudos interconectados entre sí, formando una malla. Se prefiere el uso de cables multifibras flexibles para una adecuada puesta a tierra.
3. Conexiones a los equipos, estructuras y partes metálicas de la subestación, lo cual se realiza con soldadura tipo Cadweld, por normas de ingeniería y mayor firmeza de la conexión.

#### 2.4.1 Clasificación de puestas a tierra

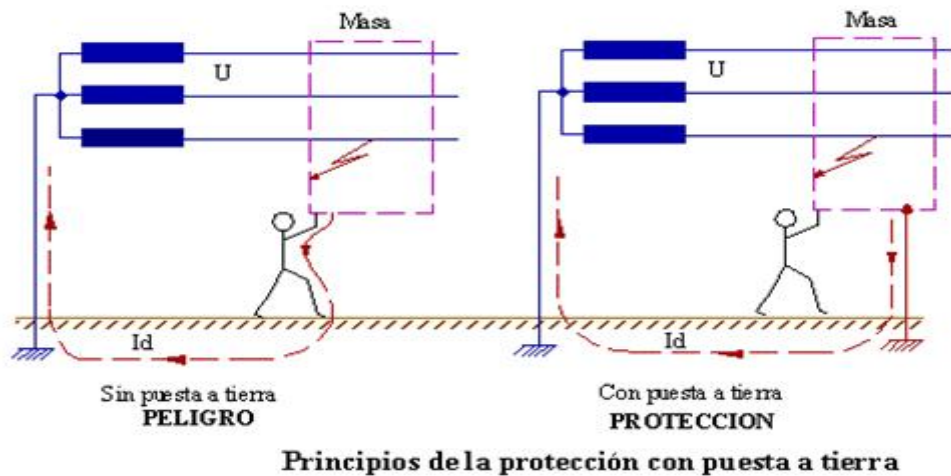


Figura 18: importancia de la Puesta a Tierra

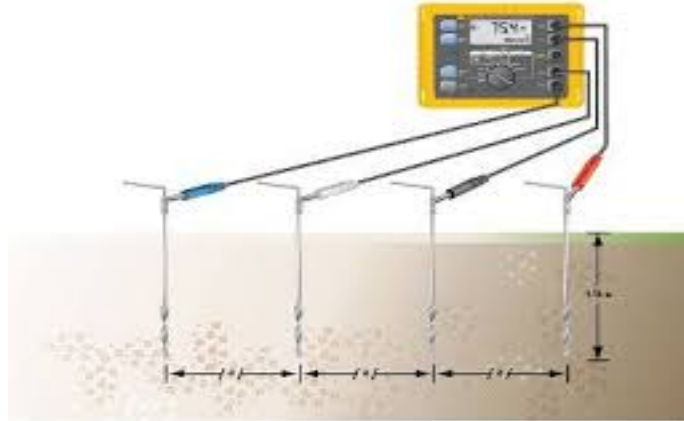
Las puestas a tierra de todas las subestaciones eléctricas se clasifican de acuerdo a dos objetivos fundamentales:

1. Puesta a Tierra de Protección.
2. Puesta a Tierra de Servicio.

La puesta a tierra de protección, como su nombre lo sugiere, protege al usuario de la subestación contra aterrizajes accidentales en las mismas. La puesta a tierra de servicio, en cambio, reduce los daños en los equipos, mientras incrementa la confiabilidad del sistema eléctrico y de los equipos de comunicaciones. [6]

[6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.

## 2.4.2 Medición de la Resistividad de los Suelos



**Figura 19 Resistividad de los suelos con "Megger"**

Existen diversos métodos para medición de la resistividad de los suelos, pero el más utilizado es Método de Wenner o de los cuatro puntos, debido a que es el más preciso para la determinación de la resistividad media de grandes volúmenes de tierra.

Este método consiste en colocar cuatro electrodos de prueba enterrados y en línea recta. Los electrodos externos son conectados a una fuente de energía eléctrica, de tal suerte que circule corriente a través del suelo localizado entre estos dos electrodos. A través de estos electrodos se mide la corriente que circula por tierra entre los mismos. Los electrodos centrales son conectados al medidor de resistencia de aislamiento (comúnmente denominado por la marca Megger) y registran una diferencia de potencial inducida entre dichos electrodos.

La fuente externa generalmente utilizada es un equipo medidor de resistencia de aislamiento, tipo "Megger", el cual tiene integrado un voltímetro y un amperímetro, valores estos que son convertidos internamente en una medida de resistencia óhmica. [6]

- [6] F. Núñez. Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.



### 3. Desarrollo

Para el desarrollo del proyecto es vital conocer y analizar los indicadores operativos de pérdidas de energía eléctrica que se reflejan en costos para CFE, además de poner en riesgo la confiabilidad y calidad del suministro eléctrico.

#### **SAIDI**

Índice de duración promedio de interrupciones en el Sistema.

$$SAIDI = \frac{\sum Duración_i \times UA_i}{\text{Usuarios de Referencia}}$$

Duración<sub>i</sub>= Duración en minutos de cada interrupción

UA<sub>i</sub>= Usuarios afectados de cada interrupción

Usuarios de Referencia= Usuarios Totales (Nacional, División o Zona)

Este índice se refiere a la duración promedio en minutos, considerando que todos los usuarios de referencia (Nacional, División ó Zona) hubieran percibido una interrupción mayor o igual a 5 minutos.

#### **SAIFI**

Índice de la frecuencia promedio de interrupciones en el Sistema.

$$SAIFI = \frac{\sum UA_i}{\text{Usuarios de Referencia}}$$

UA<sub>i</sub>= Usuarios Afectados de cada interrupción

Usuarios de Referencia= Usuarios Totales (Nacional, División o Zona)

Este índice se refiere a la cantidad de interrupciones que en promedio experimentaría cada uno de los usuarios en un periodo determinado, tomando como referencia los usuarios a nivel Nacional, División o Zona.

Este índice se incrementa en la medida de la cantidad de clientes afectados en cada interrupción, cuando el índice es igual a 0.5 quiere decir que la mitad de los clientes a tenido en promedio al menos una interrupción y si el índice es igual a 1 quiere decir que todos los clientes han tenido en promedio una interrupción.



## CAIDI

Índice de duración promedio de interrupción por usuario.  
Tiempo promedio requerido para restablecer el servicio

$$CAIDI = \frac{\sum Duración_i \times UA_i}{\sum UA_i}$$

Duración<sub>i</sub>= Duración en minutos de cada interrupción  
UA<sub>i</sub>= Usuarios Afectados de cada interrupción

Este índice se refiere a la duración promedio en minutos, en que un usuario estuvo sin energía eléctrica durante una falla en el Sistema Eléctrico de Distribución. [7]

- [7] Dirección de Operación/Subdirección de Distribución, “ANÁLISIS Y DEFINICIÓN DE INDICADORES OPERATIVOS”, CFE, Ciudad de México, 2019.



## **Análisis de 2 propuestas para reducción de sobrecarga de transformadores de potencia en Subestaciones y reducción de pérdidas técnicas.**

Se analizarán 2 propuestas mediante el sistema SynerGee para el cálculo de caída de tensión de los circuitos y así obtener la propuesta más viable en aspecto económico, técnico y funcional para la reducción de pérdidas técnicas y sobrecarga de los transformadores de potencia de las Subestaciones que actualmente suministran el servicio en el área de estudio.

### **Opción de Solución 1**

CTO. CRI-04060 CHAMULA, Construcción de nuevo circuito de media tensión

#### **Nomenclatura:**

**CRI04060:** Subestación San Cristóbal (13,200 V) (Circuito 6) (Protección: Interruptor)

#### **Características del Proyecto:**

##### **a) Construcción 1C-3F-4H-13.2 kV-477 AAC-SA-PC**

1 circuito, 3 fases 4 hilos, transformador de 13.2 kV, tipo de cable 477, AAC (Aluminio Puro) , Semiaislado, Poste de Concreto.

##### **b) Retiro de 10 km-1C-3F-3H-13.2 kV-1/0-2 ACSR-PC**

Retiro de 10 km, 1 circuito, 3 fases 3 hilos, transformador de 13.2 kV, tipo de cable 1/0-2 ACSR (Conductor de aluminio con acero reforzado), Poste de Concreto.

#### **Alcance la opción de Solución:**

- a) Construcción de circuito de MT
- b) Retiro de instalaciones existentes con más de 30 años en operación

#### **Metas físicas:**

**Tabla 1 Metas Físicas Opción 1**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
CONSTRUCCION DE LINEA MT	10	KM

## CRI-04060 SIN CONDICION DE PROYECTO

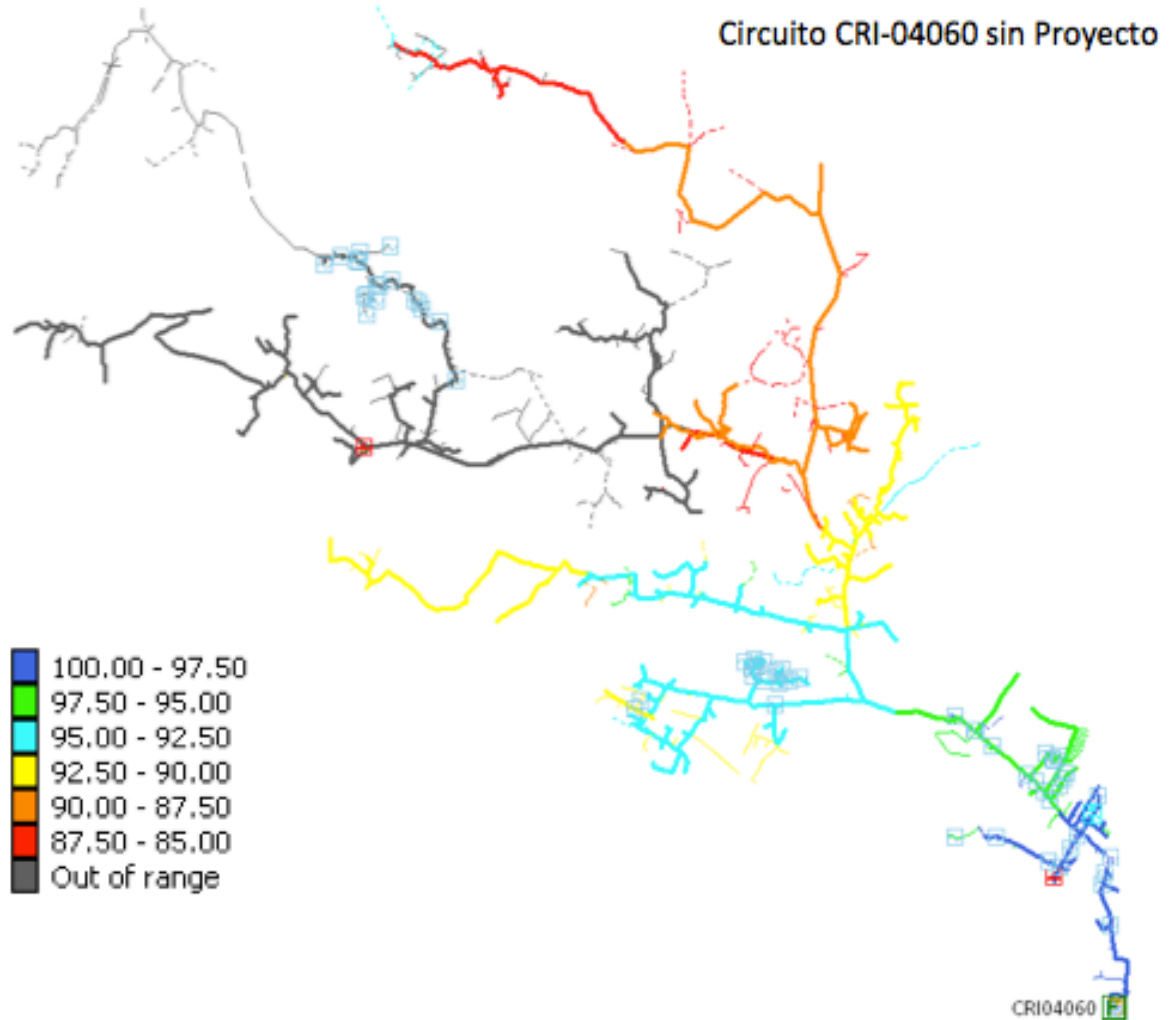


Figura 20 Circuito CRI-04060 sin Proyecto

El circuito CRI-04060 en condición actual tiene un 10.06% en pérdidas debido al crecimiento y las distancias que comprenden al circuito, como se observa en la imagen las distancias más alejadas son las que presentan mayor caída de tensión.



## CRI-04060 CON CONDICION DE PROYECTO

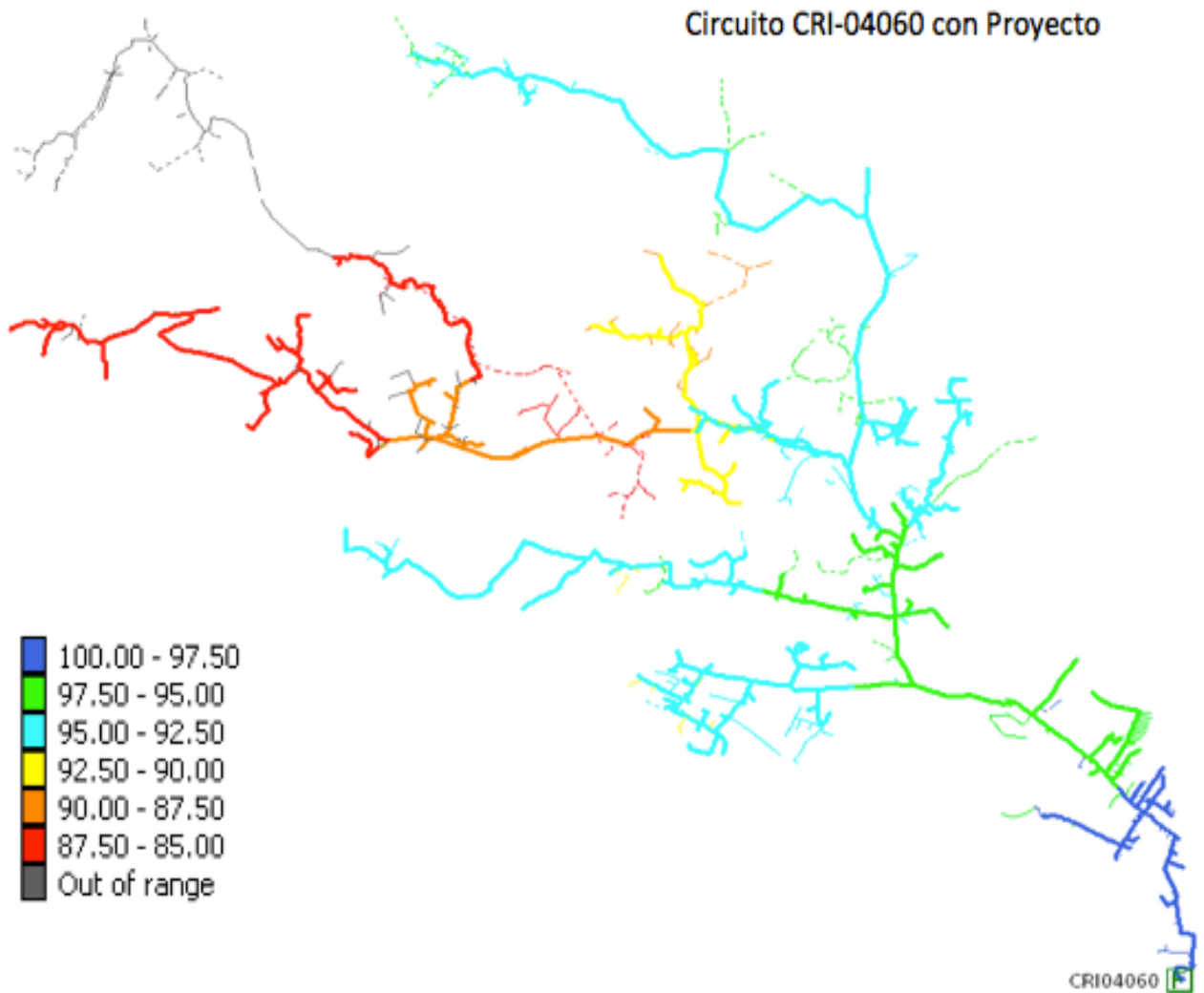


Figura 21 Circuito CRI-04060 con proyecto

El circuito CRI-04060 con condición de proyecto, Recalibración de 10 KM del circuito, tiene un 6.70% en pérdidas reduciendo 3.36% de la condición actual.



**Impacto en el indicador con proyecto:**

**Tabla 2 Indicador con Proyecto opción 1**

Elemento	Indicador	Unidad	Valor sin proyecto	Valor con proyecto	Beneficio
CRI04060	Pérdidas técnicas circuito MT	kWh	2 535 478.11	1 686 951.57	848 526.54

**Elementos de Estudio:**

En las siguientes tablas podemos observar todos los elementos del área de estudio para el análisis de las propuestas de acuerdo a todos los indicadores de pérdidas de los circuitos involucrados.

**Tabla 3 Elementos del área de estudio sin proyecto**

<b>Elementos del área de estudio (circuitos) Sin Proyecto</b>													
Núm.	Tipo	Elemento Sub. Cto. Bco.			Demanda (kW)	FP	FC	Pérdidas (kW)	Pérdidas (kWh)	ENS (kWh)	SAIDI (min)	SAIFI	CAIDI
1	E	CRI	04060	T3	7 477	1	0.59	753	2 535 478.11	3 579.14	48.68	0.258	188.89
<b>Totales</b>					7 477		0.59	753	2 535 478.11	3 579.14			

**Tabla 4 Elementos del área estudio con proyecto**

<b>Elementos del área de estudio (circuitos) Con Proyecto</b>													
Núm.	Tipo	Elemento Sub. Cto. Bco.			Demanda (kW)	FP	FC	Pérdidas (kW)	Pérdidas (kWh)	ENS (kWh)	SAIDI (min)	SAIFI	CAIDI
1	E	CRI	04060	T3	7 477	1	0.59	501	1 686 951.57	3 579.14	48.68	0.258	188.9
<b>Totales</b>					7 477		0.59	501	1 686 951.57	3 579.14			

**Resultados de costos y beneficios al primer año**

	kWh/año	Costos (miles \$)	Beneficios (miles \$)
Operación y mantenimiento		60.52	
Beneficios por reducción de pérdidas Técnicas	[Bpe] 848 526.54		1 187.94
Beneficios por reducción de energía no servida	[Bens] 0		0
Beneficios por energía incremental	[Bei] 0		0
Beneficios por reducción de pérdidas no técnicas	[Bpe]nt 0		0
<b>Total</b>		60.52	1 187.94



## Opción de Solución 2

S.E. Larrainzar Zona San Cristóbal, Municipio de Larrainzar, 1T-3F-6.25 MVA-34.5/13.8 kV-0/2 A

### Nomenclatura:

**CHE04032:** Subestación Chenalhó (13,200 V) (Circuito 3) (Protección: Restaurador)

**Ramal “Larrainzar”:** Suministrador de corriente eléctrica, parte de un sistema eléctrico que incluye el dispositivo final de sobre corriente, como un fusible, protegiendo el circuito y las formas de corriente que proporciona el circuito.

### Características del Proyecto:

**a) Construcción de 1.5 km 1C-3F-4H-13.2 kV-266-AAC-SA-PC.**

1 circuito, 3 fases 4 hilos, transformador de 13.2 kV, tipo de cable 266, AAC (Aluminio Puro), Semiaislado, Poste de Concreto.

**b) Construcción de 0.5 km 1C-3F-4H-33.0 kV-266-AAC-SA-PC.**

1 circuito, 3 fases 4 hilos, transformador de 33 kV, tipo de cable 266, AAC (Aluminio Puro), Semiaislado, Postes de Concreto.

**c) Construcción de S.E. 1T-3F-6.25 MVA- 34.5 / 13.8 kV-0.2 A.**

Subestación eléctrica, 1 Transformador trifásico de 6.25 MVA, con relación de transformación de 34.5 kV/13.8 kV, 0/2 Circuitos de alimentación.

**d) Actividades previas y adquisición de predio de subestación eléctrica:**

Se adquiere los límites de la extensión de tierra para la subestación, (Predio: tierras o terrenos delimitados).

**e) 3 Restauradores para protección y seccionamiento de circuitos en M.T. 13.2 kV.**

Los restauradores son dispositivos capaces de controlarse de manera automática que están instalados en las líneas de distribución del sistema de suministro eléctrico. Su función es impedir el paso de la electricidad y cerrar los circuitos de corriente alterna en una serie de cierres y aperturas hasta realizar un cierre o apertura definitivo, la finalidad de hacer esto es responder ante alguna falla temporal de la red eléctrica, lo que evita mayores daños en la instalación o que se convierta en una falla permanente.

**f) Construcción de 1C-3F-4H-477 ACSR- PC y retiro de 8 km-1C-3F-3H-1/0 ACSR-PC.**

Se construirá un circuito de 3 fases, 4 hilos, tipo de cable 477 ACSR-Poste de Concreto y se retirará 8 km de 1 circuito de 3 fases, 3 hilos, tipo de cable 1/0 ACSR-Poste de Concreto.



**Alcance la opción de Solución:**

**a) Construcción de circuito de media tensión 13.2 kV.**

**b) Construcción de circuito de media tensión 33.0 kV.**

**c) Construcción de S.E. de media tensión de 6.25 MVA 34.5 / 13.8 kV.**

Se construirá la subestación eléctrica de media tensión con relación de transformación de 34.5/13.8 kV.

**d) Adquisición de predio para S.E. de media tensión 34.5 /13.8 kV.**

Se adquiere los límites de la extensión de tierra para la subestación (Predio: tierras o terrenos delimitados).

**e) Equipo de protección y seccionamiento.**

Se instalarán restauradores para protección y seccionamiento para responder ante alguna falla temporal de la red eléctrica, lo que evita mayores daños en la instalación o que se convierta en una falla permanente.

**f) Recalibración de troncal MT. 13.2 kV.**

Cambio de conductor para reducción de pérdidas técnicas.

**Metas físicas:**

En la siguiente tabla se hace referencia a las metas físicas del proyecto, vitales para la realización del mismo.

**Tabla 5 Metas físicas del Proyecto**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
ADQUISICION DE TERRENO	1	LOT
CONSTRUCCION DE NUEVA SUBESTACION	6.25	MVA
LINEA DE MEDIA TENSION SUBTERRANEA	1.5	km
LINEA DE MEDIA TENSION SUBTERRANEA	0.5	km
RESTAURADORES	3	PZA
CONSTRUCCION DE LINEA MT	8	km

## Zona de influencia sin condición del proyecto

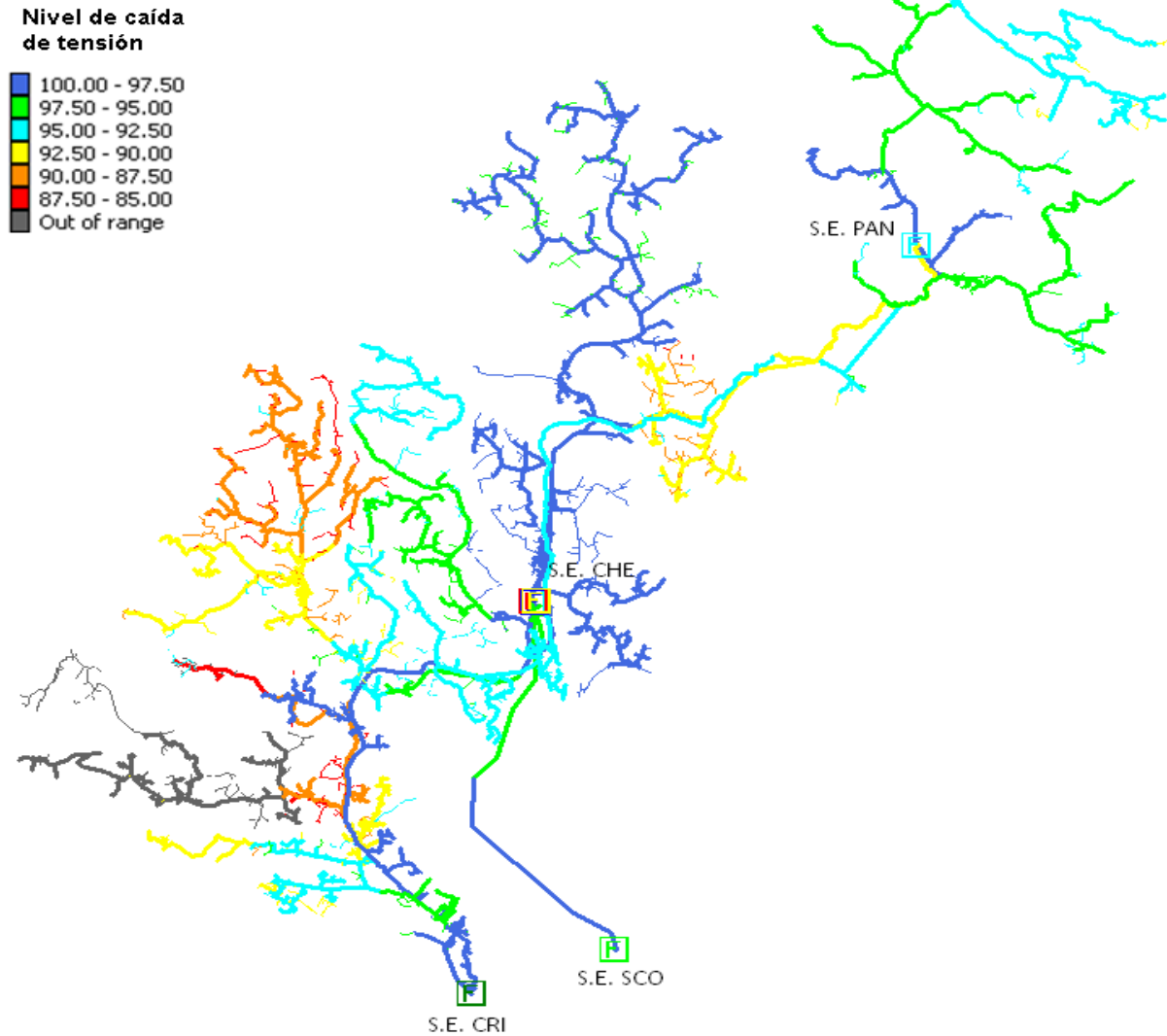


Figura 22 Zona de influencia sin condición del proyecto Opción 1

En la zona de influencia podemos observar las diferentes subestaciones que suministran la energía eléctrica de la misma, como lo son la subestación CRI San Cristóbal, SCO San Cristóbal Oriente, CHE Chenalhó, PAN Pantelhó, y las diferentes caídas de tensión demostrada con colores.

## Zona de influencia con condición del proyecto

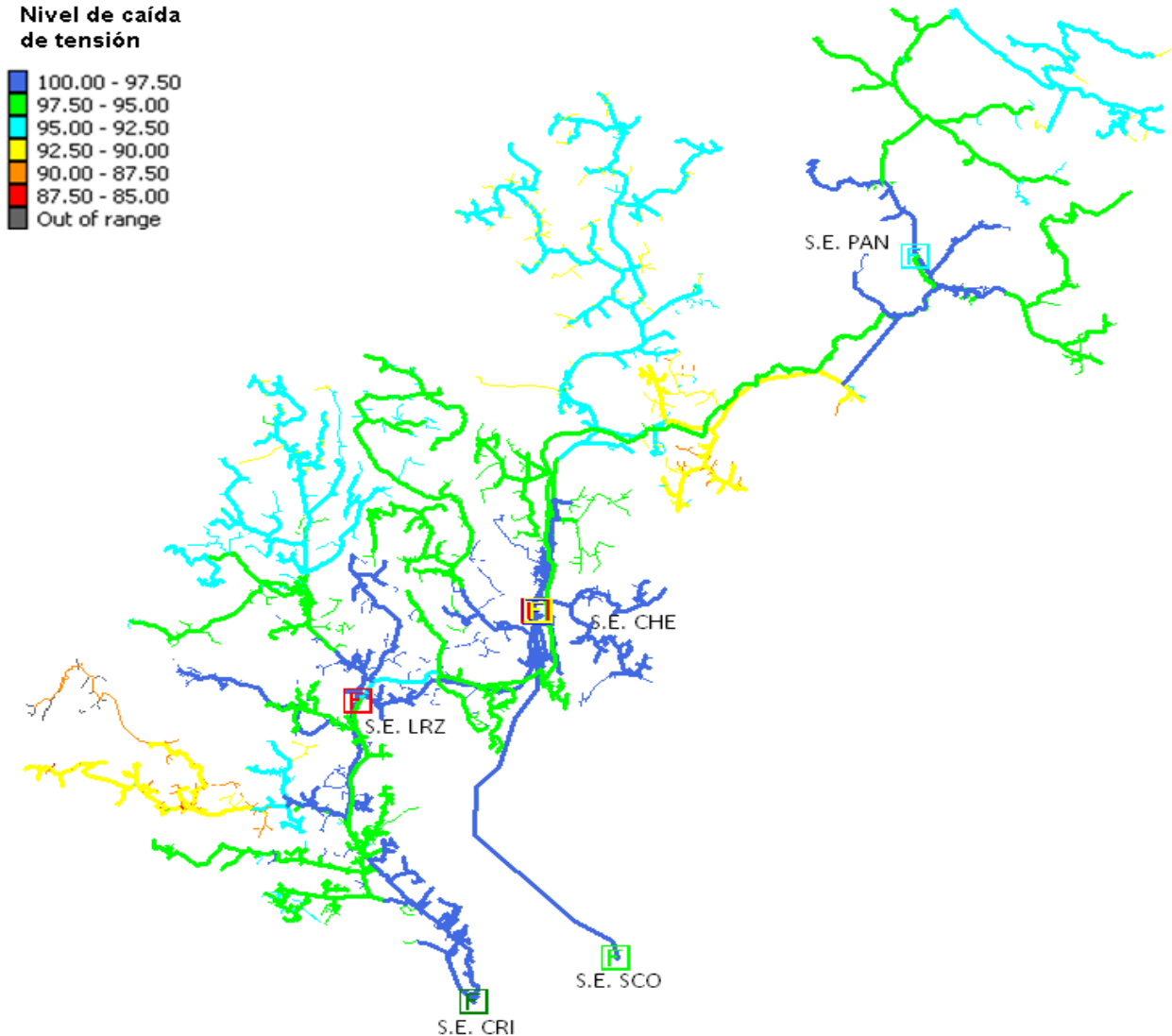


Figura 23 Zona de influencia con condición del proyecto Opción 2

Con la integración de la nueva Subestación Eléctrica en la zona de influencia observamos que se reducen notablemente las pérdidas en los circuitos de las Subestaciones CRI San Cristóbal, SCO San Cristóbal Oriente, CHE Chenalhó, PAN Pantelhó garantizando el suministro y calidad de la energía a los usuarios.



**Impacto en el indicador con proyecto:**

**Tabla 6 Impacto del proyecto**

Elemento	Indicador	Unidad	Valor sin proyecto	Valor con proyecto	Beneficio
	Pérdidas técnicas circuito MT	kWh	2 535 478.11	501 708.15	2 033 769.96

**Elementos de Estudio:**

En las siguientes tablas podemos observar todos los elementos del área de estudio para la selección del proyecto de acuerdo a todos los indicadores de pérdidas de los circuitos y subestaciones involucradas, tomando en cuenta indicadores como el SAIDI, SAIFI, y CAIDI que generan costos a CFE DISTRIBUCION.

**Tabla 7 Elementos del área de estudio sin proyecto**

<b>Elementos del área de estudio (circuitos) Sin Proyecto</b>													
Núm.	Tipo	Elemento Sub. Cto. Bco.			Demanda (kW)	FP	FC	Pérdidas (kW)	Pérdidas (kWh)	ENS (kWh)	SAIDI (min)	SAIFI	CAIDI
1	E	CHE	04012	T1	488.82	0.98	0.56	2.18	6 694.57	0	0	0	0
2	E	CHE	04022	T1	2 014.81	0.98	0.56	6	18 425.43	4 226.96	224.78	1.832	122.71
3	E	CHE	04032	T1	4 488.15	0.98	0.56	338.74	1 040 238.5	381.61	9.11	0.379	24.05
4	E	CRI	04060	T3	7 477	1	0.59	753	2 535 478.1	3 579.14	48.68	0.258	188.89
5	E	CRI	05020	T1	577	0.85	0.63	3.33	12 597.99	252.03	41.6	0.042	978
6	E	PAN	04012	T1	4 266.72	0.98	0.56	186	571 188.44	131.41	3.3	0.014	229
7	E	PAN	04022	T1	1 032.99	0.98	0.56	88.23	270 946	0	0	0	0
8	E	SCO	05012	T2	13 672	0.98	0.56	813.36	2 497 751.7	0	0	0	0
<b>Totales</b>					34 017.49		0.57	2 190.84	6 953 320.8	8 571.15			



**Tabla 8 Elementos del área de estudio con proyecto**

<b>Elementos del área de estudio (circuitos) Con Proyecto</b>													
Núm.	Tipo	Elemento Sub. Cto. Bco.			Demanda (kW)	FP	FC	Pérdidas (kW)	Pérdidas (kWh)	ENS (kWh)	SAIDI (min)	SAIFI	CAIDI
1	E	CHE	04012	T1	488.82	0.98	0.56	2.18	6 694.57	0	0	0	0
2	E	CHE	04022	T1	1 637	0.98	0.56	128	393 075.92	3 434.34	224.78	1.832	122.71
3	E	CHE	04032	T1	1 878	0.98	0.56	61	187 325.24	159.68	9.11	0.379	24.05
4	E	CRI	04060	T3	5 011	1	0.59	149	501 708.15	2 398.7	48.68	0.258	188.9
5	E	CRI	05020	T1	5 680	0.85	0.63	264	998 759.84	2 481.02	41.6	0.042	978.82
6	N	LAR	04012	T1	2 645	0.98	0.57	133	421 362.83	0	0	0	0
7	N	LAR	04022	T1	2 410	1	0.57	221	700 159.29	0	0	0	0
8	E	PAN	04012	T1	1 691	0.98	0.56	45	138 190.75	52.08	3.3	0.014	229.17
9	E	PAN	04022	T1	1 014	0.98	0.56	75	230 317.92	0	0	0	0
10	E	SCO	05012	T2	6 710	0.98	0.56	162	497 486.71	0	0	0	0
<b>Totales</b>					29 164.82		0.57	1 240.18	4 075 081.2	8 525.82			

**Resultados de costos y beneficios al primer año**

		kWh/año	Costos (miles \$)	Beneficios (miles \$)
Operación y mantenimiento			185.85	
Beneficios por reducción de pérdidas Técnicas	[Bpe]	2 878 239.66		4 029.54
Beneficios por reducción de energía no servida	[Bens]	45.33		2.36
Beneficios por energía incremental	[Bei]	0		0
Beneficios por reducción de pérdidas no técnicas	[Bpe]nt	0		0
<b>Total</b>			<b>185.85</b>	<b>4 031.9</b>



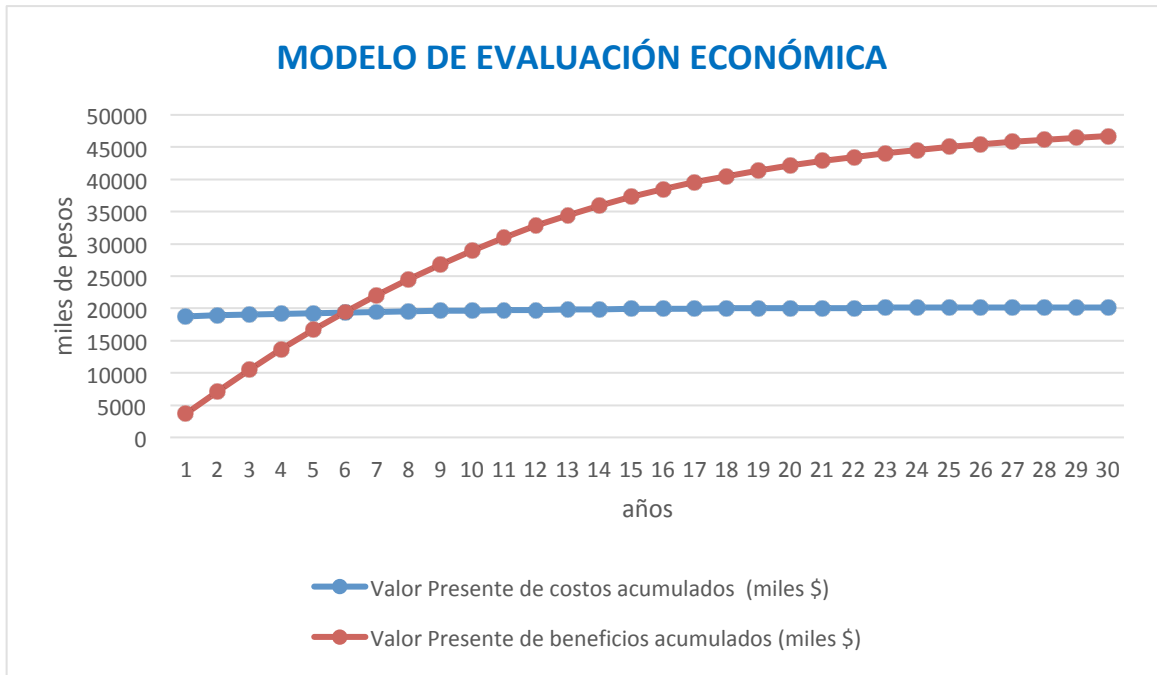


Figura 24 Modelo de Evaluación Económica de la Opción 2

**Características del Sitio:**

Larrainzar, Chiapas

- Altitud m.s.n.m: 2,200 msn m.
- Coordenadas geográficas: 16°53' N y 92°44 W
- Temperatura máxima extrema (° C): 24°
- Temperatura mínima extrema (° C): 8°
- Días con heladas por año: 0
- Humedad relativa promedio mensual del mes más alto (%): 26%
- Máxima precipitación pluvial del mes más alto (%): 267 mm
- Riesgo sísmico del Terrero: Medio
- Velocidad máxima del viento (km/h): 9 km/h
- Nivel de contaminación: Media
- Tipo de Contaminación: Agrícola [7]

**Con los estudios realizados llegamos a la conclusión que el proyecto de la nueva Subestación Eléctrica en el municipio de Larrainzar es el proyecto más viable en cuestión económica, técnica y operacional para la zona ya que se obtiene menores pérdidas técnicas además de que la inversión es remunerable y tiene una duración de operación de 30 años .**

[7] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Características del sitio. México. [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx>.

## Resultados

### Diagrama actual de los circuitos involucrados:

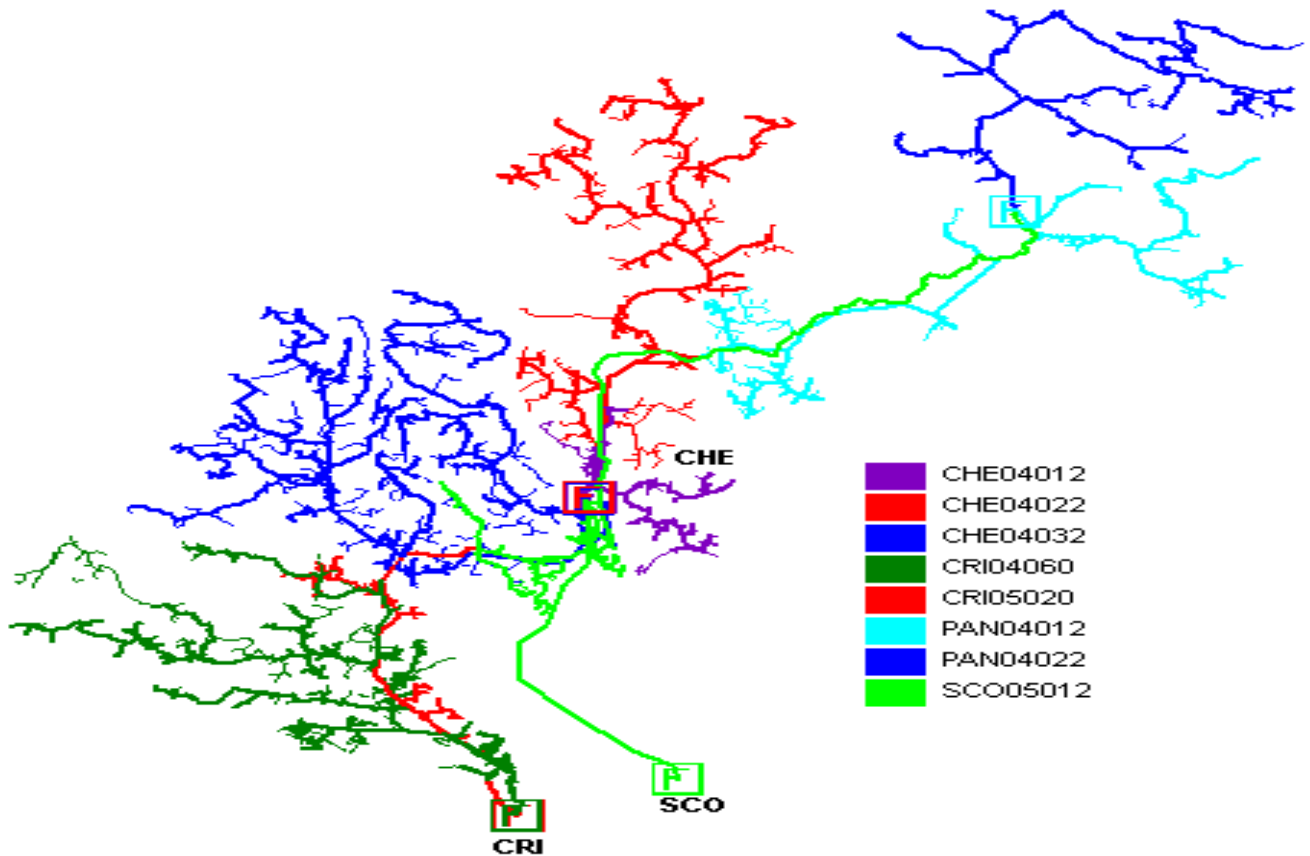


Figura 19: Diagrama actual de los circuitos involucrados

Se desarrolló el diagrama en condición actual de los circuitos en la zona de influencia y se demuestran con diferentes colores para cada circuito de las diferentes subestaciones eléctricas.

### Subestaciones en la zona de influencia:

- CHE- Subestación Chenalhó
- CRI- Subestación San Cristóbal
- PAN- Subestación Pantelhó
- SCO- Subestación San Cristóbal Oriente

### Diagrama de subestaciones con proyecto:

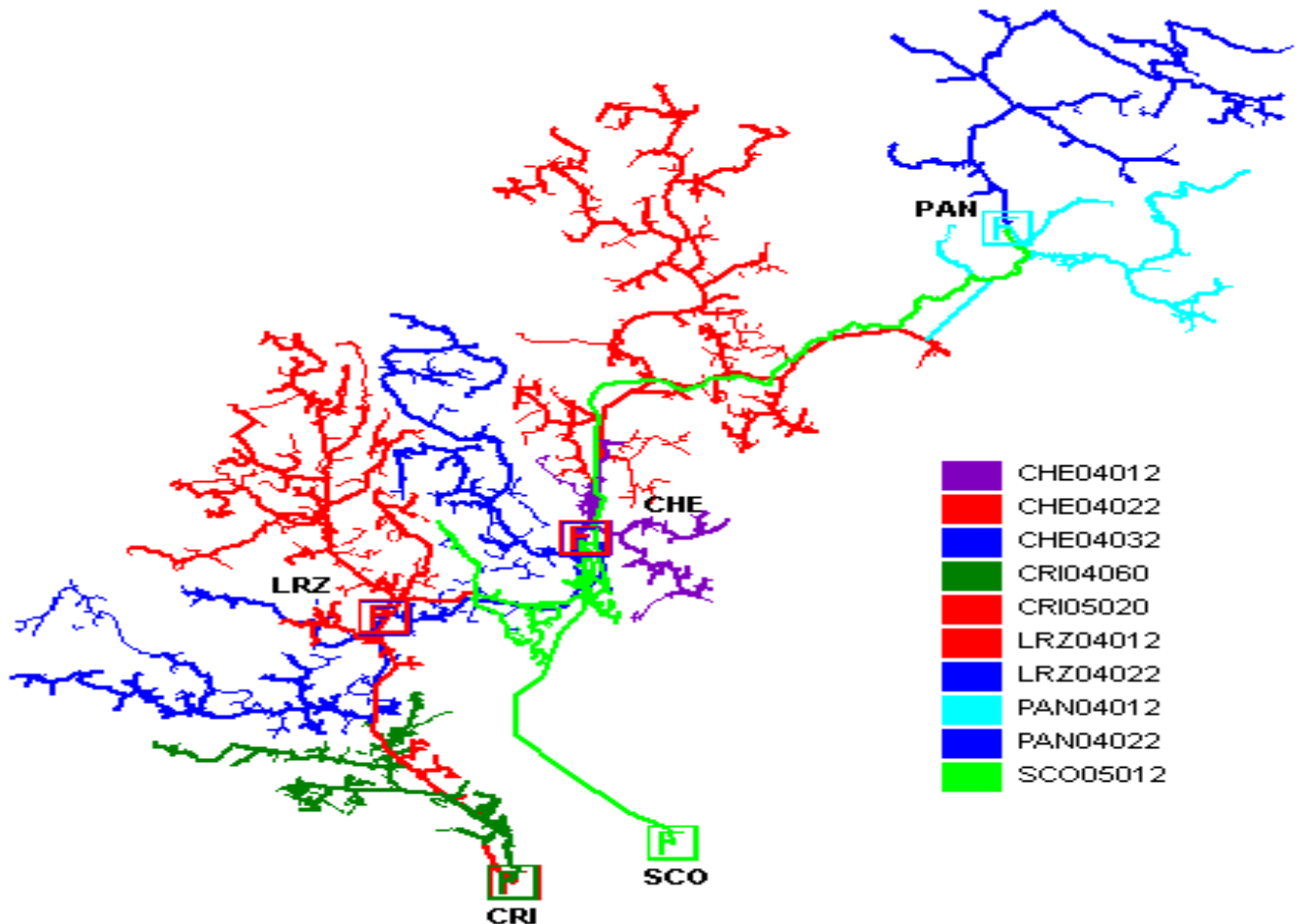


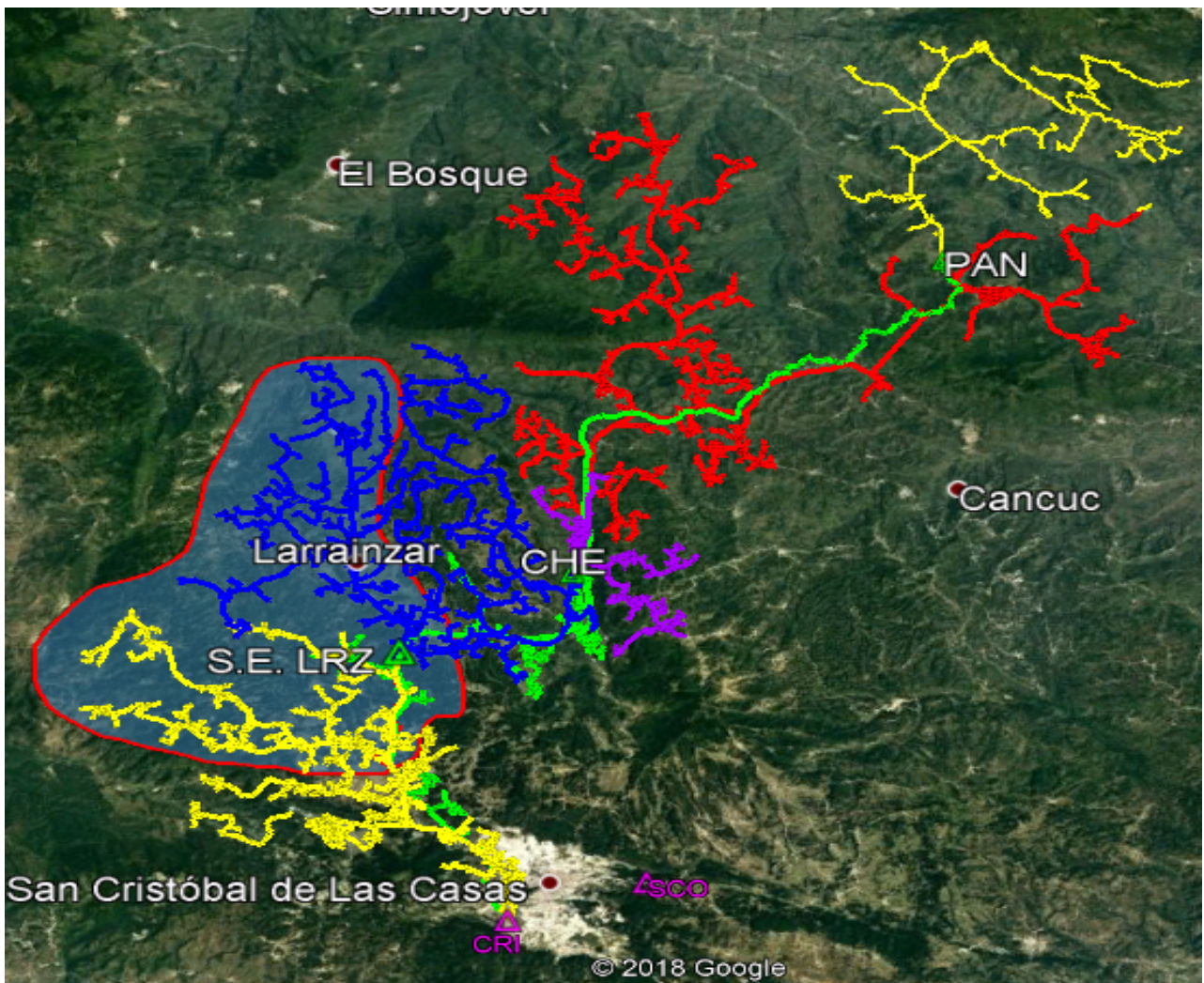
Figura 25: Diagrama de subestaciones con proyecto

### Subestación a Diseñar:

- LRZ- Subestación Larrainzar

Se implementó la nueva S.E. Larrainzar de 6.25 MVA con relación de transformación 34.5/13.8 kV-0/2 A, conectada al circuito CRI05020 en 34 kV en la zona de influencia donde se derivan 2 circuitos de distribución los cuales son: LRZ04012 y LRZ04022 demostrados en el diagrama.

**Diagrama geográfico con proyecto:**



**Figura 26: Diagrama geográfico con proyecto**

Se diseñó el diagrama geográfico con la condición del proyecto, señalando el área que será suministrada por la nueva Subestación Eléctrica, principalmente la localidad de Larrainzar y comunidades aledañas a esta como lo son: Bochil, Buena Vista, Chalotoj, Pechtón, Linda Vista, El Carmen, etc., en el estado de Chiapas.



**Pantallas con la tabla de resultados de flujos de potencia de SynerGEE de la condición actual.**

Source Id	Demand				Load		Loss		
	kW	kvar	kVA	pf	kW	kvar	kW	%	
<b>Feeders for CHE42010</b>									
CHE04012 CHENALHO-PANTELHO	490	100	500	98	487	138	3	0.52	
CHE04022 TZUSTBEN	353	72	360	98	347	199	6	1.75	
CHE04032 LARAIZAR	4383	890	4473	98	4053	695	330	7.54	
<b>CHE42010 Totals</b>	<b>5226</b>	<b>1061</b>	<b>5333</b>	<b>98</b>	<b>4887</b>	<b>1032</b>	<b>339</b>	<b>6.49</b>	
<b>Feeders for CRI42030</b>									
CRI04060 CHAMULA	7477	578	7499	100	6724	465	753	10.06	
<b>Feeders for CRI52010</b>									
CRI05020	577	-358	679	-85	574	-101	3	0.50	
<b>Feeders for LRZ42012</b>									
LRZ04012	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
LRZ04022	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
<b>LRZ42012 Totals</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	
<b>Feeders for PAN42010</b>									
PAN04012	2958	601	3018	98	2772	564	186	6.29	
PAN04022	1014	206	1035	98	939	239	75	7.36	
<b>PAN42010 Totals</b>	<b>3972</b>	<b>806</b>	<b>4053</b>	<b>98</b>	<b>3711</b>	<b>803</b>	<b>261</b>	<b>6.56</b>	
<b>Feeders for SCO052012</b>									
SCO05012	13672	2774	13951	98	12969	1758	703	5.14	

**Figura 27: Resultados de flujo de potencia de SynerGee de la condición actual**

En la tabla de resultados de flujos de potencia en el simulador SynerGee de la condición actual de las subestaciones Chenalhó, San Cristobal, Pantelhó y San Cristóbal Oriente donde podemos observar la demanda, la carga y las pérdidas de cada una de las subestaciones.



**Pantallas con la tabla de resultados de flujos de potencia de SynerGEE de la condición con proyecto**

Feeder Summary									
Source Id	Demand				Load		Loss		
	kW	kvar	kVA	pf	kW	kvar	kW	%	
Feeders for CHE42010									
CHE04012 CHENALHO-PANTELHO	490	100	500	98	487	138	3	0.52	
CHE04022 TZUSTBEN	1637	388	1682	97	1508	462	128	7.84	
CHE04032 LARAIZAR	1878	261	1896	99	1817	283	61	3.26	
CHE42010 Totals	4005	748	4074	98	3813	883	192	4.80	
Feeders for CRI42030									
CRI04060 CHAMULA	5011	-26	5011	-100	4862	394	149	2.97	
Feeders for CRI52010									
CRI05020	5680	318	5689	100	5416	389	264	4.65	
Feeders for LRZ42012									
LRZ04012	2645	471	2687	98	2513	458	133	5.01	
LRZ04022	2410	170	2416	100	2189	85	221	9.16	
LRZ42012 Totals	5055	641	5095	99	4702	543	353	6.99	
Feeders for PAN42010									
PAN04012	1691	281	1715	99	1646	298	45	2.66	
PAN04022	1014	206	1035	98	939	239	75	7.36	
PAN42010 Totals	2705	487	2749	98	2586	537	119	4.42	
Feeders for SCO052012									
SCO05012	6710	1235	6823	98	6548	1412	162	2.41	

**Figura 28: Resultados de flujos de potencia en SynerGee de la condición con proyecto**

Se demuestra en la tabla los flujos de potencia en SynerGee con la condición del proyecto de la nueva S.E en el municipio de Larrainzar donde podemos apreciar que los niveles de demanda, carga y pérdidas se reducen considerablemente atendiendo a la problemática existente.

## Red de Tierra

La red de tierra cumple tres funciones básicas en una subestación:

- a) Dar seguridad al personal que esté dentro del predio de la subestación o en su periferia, evitando la elevación de las tensiones de toque y de paso a valores peligrosos para la vida humana.
- b) Protección del equipo eléctrico, evitando que el gradiente de potencial en la subestación se eleve a valores peligrosos para el equipo al ocurrir una descarga (falla) eléctrica en la subestación.
- c) Servir como medio de aterrizamiento, para maniobras con fines de mantenimiento de equipo eléctrico.

### Materiales a utilizar

Todos los materiales a utilizar en la construcción de la red de tierra deben ser de cobre o aleación de cobre:

- a) Cables: solamente de cobre.
- b) Varillas de tierra: de acero recubierto de cobre.
- c) Conectores: de cobre, de fusión o aleación de cobre.

### Cables



**Figura 29 Cable de Cobre**

El tamaño o designación del conductor mínimo a usar debe ser:

- a) En la malla principal: cobre de  $107.2 \text{ mm}^2$  (4/0 AWG) de sección transversal.
- b) En derivaciones a Apartarrayos: cobre de  $107.2 \text{ mm}^2$  (4/0 AWG) de sección transversal, una por fase.
- c) Los cables de cobre que formen la malla de la red de tierra, se deben localizar al fondo de una zanja de 50 cm de profundidad y una vez colocados y comprobados los conectores, se rellena la zanja compactando nuevamente el terreno con la humedad necesaria.

- d) Cuando la malla se desplante sobre relleno, se debe mejorar el material que se use para rellenar la zanja, con bentonita o sulfato de magnesio.
- e) La malla de tierra se debe extender para cubrir toda el área eléctrica.
- f) Al tenderse los cables de la red de tierra, debe optimizarse su trayectoria para evitar en lo posible cortar cables procurando que los puntos de conexión sean los menos posibles.

### **Electrodos de tierra**



**Figura 30 Electrodo para tierra**

Se denominan Electrodo de Tierra a los elementos (varillas) cuya función es drenar a las capas del terreno subyacente, las descargas de tensión inducida por los Apartarrayos y equipo primario de la subestación y son hincados en el suelo para alcanzar capas más húmedas del terreno y conectados a la red de tierra dependiendo del tipo de terreno donde son utilizados.

### **Conectores**



**Figura 31 Conector de cobre para S.E.**

En la red de tierra deben utilizarse únicamente conectores de fusión.





**Listado de materiales para la Subestación Eléctrica de bajo costo Larráinzar**

**Tabla 9 Listado de materiales**

No.	Código	Descripción	UM	Cant	P.U.	Costo Total
1	0000000152	ABRAZADERA 1BS	PZ	136	97.82	13 304.17
2	0000793677	ABRAZADERA 2BS	PZ	136	58.1	7 901.60
3	0000000146	ABRAZADERA 2UH	PZ	24	114.91	2 757.84
4	0000000861	ABRAZADERA 3AG	PZ	48	154.14	7 398.86
5	0000000151	ABRAZADERA UC	PZ	6	82.56	495.36
6	0000000151	ABRAZADERA UC	PZ	136	82.56	11 228.78
7	0000000855	ABRAZADERA UL	PZ	4	105.2	420.80
8	0000733424	AISLADOR 13PDPG1	PZ	440	0.0	0.00
9	0000279515	AISLADOR 13SHL45N (ASUS 15)	PZ	144	258.39	37 207.54
10	0000445184	AISLADOR 16SVH044C	PZ	90	26.8	2 412.00
11	0000000307	AISLADOR 1C	PZ	136	24.09	3 276.02
12	0000741098	AISLADOR 33PDPG1	PZ	12	237.99	2 855.88
13	0000000308	AISLADOR 3R	PZ	80	80.06	6 404.50
14	0000813545	ALAMBRE AS4	KG	112	78.38	8 778.56
15	0000793736	ALAMBRE CU 4	KG	224	167.62	37 546.88
16	0000793736	ALAMBRE CU 4	KG	100	167.62	16 762.00
17	0000793736	ALAMBRE CU 4	KG	24	167.62	4 022.88
18	0000002620	ANCLA C3	PZ	48	205.21	9 849.91
19	0000793738	APARTARRAYO ADOM-12	PZ	9	678.34	6 105.06
20	0000002027	APARTARRAYO ADOM-30	PZ	6	1 145.97	6 875.82
21	0000793743	APARTARRAYO ALEA 13	PZ	48	496.64	23 838.72
22	0000000761	APARTARRAYO ASOM-12-III-20	PZ	12	8 221.79	98 661.48
23	0000793747	APARTARRAYO ASOM-III-20-30	PZ	12	8 930.0	107 160.00
24	0000793757	BASTIDOR B1	PZ	136	35.16	4 781.76
25	0000068859	BOTA TERMOCONTRACTIL	PZ	6	730.0	4 380.00
26	0000793769	CABLE AAC 477	KG	16 824	33.37	561 416.88
27	0000793773	CABLE ACSR 3/0	KG	2 888	30.05	86 784.40
28	0000813546	CABLE AG-9	KG	368	49.62	18 260.16
29	0000788300	CABLE AL (500)-XLP-RA-15-133-B	MT	92	118.93	10 941.56
30	0000788300	CABLE AL (500)-XLP-RA-15-133-B	MT	6 300	118.93	749 259.00
31	0000445979	CABLE AL (500)-XLP35	MT	92	137.21	12 623.32
32	0000445979	CABLE AL (500)-XLP35	MT	1 575	137.21	216 105.75
33	0000793830	CABLE CU 2	KG	16	145.0	2 320.00
34	0000793831	CABLE CU 3/0	KG	600	145.0	87 000.00
35	0000793831	CABLE CU 3/0	KG	28	145.0	4 060.00
36	0000793831	CABLE CU 3/0	KG	63	145.0	9 135.00
37	0000793831	CABLE CU 3/0	KG	2 313	145.0	335 385.00
38	0000000611	CABLE CUF-1/0	MT	30	17.91	537.30
39	0000793841	CABLE DE COBRE THHW-LS 8	MT	12	10.04	120.48
40	0000793850	CABLE MULTIPLE AAC-AAC (3+1)3/0-1/0	MT	200	78.25	15 650.00
41	0000010672	CARGA CADWELD 90-F-20	PZ	44	36.6	1 610.40
42	0000003774	CONEC.LINEA VIVA 2/0-1/0	PZ	6	76.56	459.36
43	0000001018	CONECTADOR BIPARTIDO S4	PZ	8	41.41	331.27
44	0000675201	CONECTADOR CDP 7-10/4-6	PZ	88	11.56	1 017.34
45	0000675201	CONECTADOR CDP 7-10/4-6	PZ	3	11.56	34.68
46	0000793880	CONECTADOR CRT 13 (3/0)	PZ	60	45.22	2 713.20
47	0000793882	CONECTADOR CRU 13 (3/0)	PZ	104	5.7	592.80
48	0000793882	CONECTADOR CRU 13 (3/0)	PZ	24	5.7	136.80
49	0000793882	CONECTADOR CRU 13 (3/0)	PZ	63	5.7	359.10



50	0000659889	CONECTADOR CRU 22 (477)	PZ	24	207.66	4 983.81
51	0000008915	CONECTADOR DERIV TIPO L 4/0-4,4/0-4DC (VCL-66)	PZ	48	13.69	657.12
52	0000000387	CONECTADOR MET-16	PZ	88	0.0	0.00
53	0000000387	CONECTADOR MET-16	PZ	6	188.4	1 130.40
54	0000003781	CONECTOR PARA VARILLA A TIERRA	PZ	100	7.03	703.00
55	0000279449	CONECTOR T DE CABLE A CABLE 250-250	PZ	80	379.58	30 366.40
56	0000068503	CONECTOR ZAPATA	PZ	50	320.05	16 002.50
57	0000010779	CORREDERA FIERRO GALVANIZADO	PZ	176	473.74	83 377.80
58	0000279763	CORTACIRCUITO CCF-38-100-200-2000	PZ	6	333.33	1 999.98
59	0000350756	CORTACIRCUITOS CCFP-200-38-100-10	PZ	1	34 503.02	34 503.02
60	0000000883	CRUCETA C4T	PZ	12	604.69	7 256.28
61	0000000188	CRUCETA C4V	PZ	64	625.41	40 026.24
62	0000000886	CRUCETA PR-200	PZ	96	726.24	69 718.82
63	0000000886	CRUCETA PR-200	PZ	4	726.24	2 904.96
64	0000000196	CRUCETA PT-250	PZ	16	688.07	11 009.06
65	0000000196	CRUCETA PT-250	PZ	36	688.07	24 770.52
66	0000010291	CRUCETA PV-200	PZ	136	549.93	74 789.96
67	0000446621	CUCHILLA COG-125-15	PZ	2	17 495.89	34 991.78
68	0000813524	CUCHILLA COGC-15-125-H	PZ	2	23 111.18	46 222.36
69	0000365254	CUCHILLA DESC CSA-200-38-1250-H	PZ	2	32 480.76	64 961.52
70	0000353756	CUCHILLA DESC CSP-125-15-630-V	PZ	6	6 711.53	40 269.16
71	0000353756	CUCHILLA DESC CSP-125-15-630-V	PZ	27	6 711.53	181 211.31
72	0000649081	CUCHILLA DESC CSP-125C-15-630-V	PZ	18	3 832.5	68 985.00
73	0000440709	CUCHILLA DESC CSP-200C-38-630-V	PZ	6	12 615.06	75 690.38
74	0000445378	DUCTO PAD 75 mm (3")	PZ	1 250	45.26	56 575.00
75	0000649181	ELECTRODO PARA TIERRA ACE 16	PZ	60	363.57	21 814.20
76	0000649181	ELECTRODO PARA TIERRA ACE 16	PZ	44	363.57	15 997.08
77	0000649181	ELECTRODO PARA TIERRA ACE 16	PZ	6	363.57	2 181.42
78	0000793943	ELECTRODO PARA TIERRA ACS 16	PZ	88	195.0	17 160.00
79	0000649186	EMPALME CONTRACTIL EN FRIO 15 (300)	PZ	6	5 183.79	31 102.72
80	0000445362	EMPALME CONTRACTIL EN FRIO 15 (500)	PZ	12	6 353.28	76 239.41
81	0000659877	GRAPA REMATE PAL 13	PZ	40	360.0	14 400.00
82	0000794123	GRAPA REMATE RAL 8	PZ	192	66.58	12 783.36
83	0000794127	GRILLETE GA1	PZ	16	129.18	2 066.88
84	0000794128	GUARDACABO G2	PZ	80	37.38	2 990.40
85	0000445140	MENSULA CS 35	PZ	176	40.1	7 058.52
86	0000000209	MOLDURA RE	PZ	48	32.38	1 554.43
87	0000794145	OJO RE	PZ	40	28.14	1 125.60
88	0000794145	OJO RE	PZ	96	28.14	2 701.44
89	0000000216	PERNO ANCLA 1PA	PZ	48	175.44	8 421.25
90	0000013741	PERNO DR 16X356	PZ	32	83.94	2 686.01
91	0000013741	PERNO DR 16X356	PZ	72	83.94	6 043.68
92	0000000225	PERNO DR 16PZ57	PZ	128	117.08	14 986.06
93	0000000225	PERNO DR 16PZ57	PZ	160	117.08	18 732.80
94	0000794147	PERNO DR 161608	PZ	16	51.39	822.24
95	0000000165	PLACA IPC	PZ	128	10.72	1 372.15
96	0000010784	PLACA PR	PZ	408	0.0	0.00
97	0000003966	POSTE DE CONCRETO PC-13-600	PZ	14	1 395.4	19 535.60
98	0000003966	POSTE DE CONCRETO PC-13-600	PZ	2	1 395.4	2 790.80
99	0000794155	POSTE DE CONCRETO PCR-12-750	PZ	168	4 334.71	728 231.28
100	0000000234	PROTECTOR PARA RETENIDA R1	PZ	48	421.94	20 253.38
101	0000038037	REGISTRO DE MEDIA TENSION TN-RMTB4	PZ	44	11 617.17	511 155.45



102	000000299	REMATE P AG9	PZ	240	68.78	16 506.19
103	0000816211	REMATE PRA 3/8	PC	80	13.01	1 040.80
104	0000447634	RESTAURADOR RPM-110-15.5-630-8000	PZ	3	31 035.32	93 105.96
105	0000649780	RESTAURADOR RSM-110-15.5-630-12000	PZ	2	368 777.09	737 554.18
106	0000000913	SOPORTE CV1	PZ	4	200.92	803.68
107	0000000913	SOPORTE CV1	PZ	18	200.92	3 616.56
108	0000166517	SOPORTE DE NEOPRENO DE 2''' X 1/2''' 5''' CON	PZ	352	13.96	4 913.92
109	0000650857	TERMINAL CONTRACTIL EN FRIO 15-2- E	PZ	12	377.59	4 531.08
110	0000435123	TERMINAL CONTRACTIL EN FRIO 15- 500-E	PZ	6	6 081.64	36 489.85
111	0000650895	TERMINAL MODULAR-TMIEP 35-500	PZ	6	9 556.87	57 341.20
112	0000675209	TERMINAL TERMOCONTRAC.EXT.2 AWG A 34.5KV	PZ	6	10 425.67	62 554.03
113	0000000918	TIRANTE T2	PZ	136	353.67	48 099.68
114	0000794232	TORNILLO MAQUINA 16333.726	PZ	6	55.62	333.72
115	0000794232	TORNILLO MAQUINA 167 564.326	PZ	136	55.62	7 564.32
116	0000000481	TORNILLO MAQUINA 19PZ06	PZ	12	87.05	1 044.60
117	0000009741	TRANSF D3-30-33000-220Y/127	PZ	1	117 035.54	117 035.54
118	0000354055	TRANSF DE POTENCIA ST-5-34.5/13.8- 250/1	PZ	1	1 700 240.03	1 700 240.03
119	0000693193	TUBO PAD PARA TRANSICION DE 4"	PZ	18	780.0	14 040.00
120	0000280157	UTR TIPO POSTE	PZ	3	170 932.35	512 797.05
121	0000794328	VARILLA P-ACSR-L-1/0	JG	408	19.8	8 078.40
122	0000033522	ZAPATA TERMINAL CU-250-500	PZ	12	65.68	788.16
123	0000279467	ZAPATA TERMINAL DE OJO 1/0-5/16	PZ	12	55.38	664.55

Los materiales que se utilizarán para la construcción de la Subestación Eléctrica en el municipio de Larrainzar en el estado de Chiapas se anexan con el código, la descripción de cada uno de ellos, la unidad de medida y el precio unitario, mismos que son utilizados por la Oficina de Planeación y Construcción de la CFE.



**Tabla 10 Especificaciones de materiales**

<b>Especificaciones de materiales</b>		
<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Uso</b>
ABRAZADERA	1BS	Fijar bastidores, alfileres P y soportes angulares en líneas de distribución.
	2BS	
ABRAZADERA	2UH	Fijar crucetas a postes en líneas y redes aéreas.
ABRAZADERA	3AG	Fijar aisladores de suspensión en estructuras de deflexión con ángulos de 90" a 180" y anclaje de líneas aéreas.
ABRAZADERA	UL	Fijar crucetas a postes en líneas y redes aéreas.
	UC	
AISLADOR	13PDPG1	Los aisladores deben soportar la carga mecánica que el conductor transmite al apoyo a través de ellos. Estos deben aislar eléctricamente los conductores de los apoyos, soportando la tensión en condiciones normales y anormales y sobretensiones hasta las máximas previstas que los estudios de coordinación del aislamiento definen con cierta probabilidad de ocurrencia. La tensión debe ser soportada tanto por el material aislante propiamente dicho como por su superficie y por el aire que rodea al aislador.
	13SHL45N (ASUS 15)	
	16VH044C	
	1C	
	33PDPG1	
	3R	
ALAMBRE	AS4	Alambre de aluminio suave desnudo para amarres de conductores desnudos.
	CU4	Alambre de cobre desnudo, uso sobre aisladores en líneas de distribución eléctrica, conexiones de neutros y puesta a tierra de equipos y sistemas eléctricos.
ANCLA	C3	Sujeta el perno de ancla (PA) en redes de baja tensión, la C1 y la C3 en líneas de distribución.



APARTARRAYO	ADOM-12	Apartarrayo de distribución de óxidos metálicos. Es utilizado para la protección del sistema de distribución de energía eléctrica en zonas de baja, media y alta contaminación.
	ADOM-30	
	ALEA 13	Apartarrayos de Línea con Entrehierro en Aire (ALEA) es un equipo diseñado para proteger los sistemas de distribución contra Descargas Atmosféricas.
	ASOM-12-III-20	Apartarrayos de Óxidos Metálicos para Subestaciones de Transmisión.
	ASOM-III-20-30	
BASTIDOR	B1	Soportar aisladores tipo carrete en redes aéreas.
BOTA TERMOCONTRACTIL		Se usa para aislamiento fiable y sellado de los brotes de cable en multiconductor blindado y en los extremos de conducto.
CABLE	AAC 477	Cables de aluminio desnudo para acometida, circuitos de distribución, subtransmisión y transmisión.
	ACSR 3/0	Cable de aluminio desnudo con alma de acero, son utilizados como líneas de transmisión en altos voltajes a grandes distancias, y líneas de distribución en circuitos de alta y baja tensión en áreas urbanas y rurales, así como alimentación general a empresas y subestaciones, con una mayor distancia intercostal.
	AG-9	Cable de acero galvanizado de alta resistencia para retenida.
	AL(500)-XLP-RA-15-133-B	Cable de media tensión para uso en ambientes principalmente húmedos y son utilizados preferentemente en redes de distribución de energía urbanas.
	AL(500)-XLP35	
	CU2	Cable de cobre desnudo en temple duro, semiduro o suave, se usan sobre aisladores en líneas aéreas de distribución eléctrica, conexiones de neutros, puestas a tierra y sistemas eléctricos, y como conductores eléctricos aislados.
	CU 3/0	
	CUF-1/0	Cable de cobre electrolítico de alta pureza para líneas de baja tensión, distribución aérea, etc.
	COBRE THHW-LS8	Conductor de cobre electrolítico pureza 99.9% con aislamiento termoplástico.
	MULTIPLE AAC-AAC (3+1) 3/0-1/0	Cable formado por uno, dos o tres conductores de aluminio electrolítico, de alta pureza, temple duro, en forma de cables concéntricos.



CARGA CADWELD	90-F-20	Carga para conexión exotérmica.
CONECTADOR	LINEA VIVA 2/0-1/0	Conectador derivador para línea viva de aleación de cobre estañado para líneas aéreas.
	BIPARTIDO S4	Unión fabricada de cobre para un excelente flujo de energía.
	CDP 7-10/4-6	Conector derivador para conexiones de derivación paralelas de conductores.
	CRT 13 (3/0)	Conectador con cuerpo de aleación de aluminio.
	CRU 13(3/0) CRU 22 (477)	Conectador de aluminio tipo compresión para tensión mínima
	DERIVADOR TIPO L 4/0-4, 4/0-4DC (VCL-66)	Conectador derivador de aluminio de compresión a 90° con alta resistencia mecánica.
CONECTOR	MET-16	Conector para varilla que permite la unión eficiente entre varilla y el cable.
	PARA VARILLA DE TIERRA	Utilizado para conectar a tierra un conductor de cobre.
	T DE CABLE A CABLE 250-250	Conector para cable de aleación de cobre para derivar de tubo de cobre a cables de cobre.
	ZAPATA	Conectores diseñados para realizar extensiones y conexiones para evitar empates en los cables porta electrodo y evitar sobre calentamiento.
CORREDERA	FIERRO GALVANIZADO	Corredera de acero usada como soporte para ménsulas y cables en pozos de visitas y bóvedas de distribución subterránea.
CORTACIRCUITOS	CCF-38-100-200-2000	Se utiliza para la protección contra fallas de sobre corriente de transformadores, bancos de capacitores, equipo de medición y líneas de distribución secundarias.
	CCFP-200-38-100-10	
CRUCETA	C4T	Uso en estructuras, en líneas y redes aéreas de distribución.
	C4V	
	PR-200	Remate de conductores en líneas aéreas de media tensión.
	PT-250	Soporta conductores y equipos en líneas aéreas de media tensión.
	PV-200	
CUCHILLA	COG-125-15	Cuchilla tripolar de operación en grupo sin carga.
	COGC-15-125-H	
	DESC CSA-200-38-1250-H	
	DESC CSP-125-15-630-V	Utilizadas en subestaciones y redes de distribución, ideales para usarse en restauradores para quitar peso y volumen a las estructuras.
	DESC CSP-200-38-630-V	



DUCTO	PAD 75MM (3")	Adecuados para la elaboración de bancos de ductos.
ELECTRODO PARA TIERRA	ACE 16	Provee la conexión física para disipar la corriente a tierra.
EMPALME CONTRACTIL	EN FRIO 15 (300)	Elimina prácticamente el empuje, la tracción o el calentamiento requerido en empalmes tradicionales.
GRAPA REMATE	PAL 13	Suspensión para hilo de guarda.
	RAL 8	Sujeta cable de acero en retenidas de líneas y redes aéreas.
GRILLETE	GA1	Soporte de cadenas de aisladores en líneas aéreas.
GUARDACABO	G2	Uso en retenidas tipo banqueta de redes aéreas.
MENSULA	CS 35	Uso con la corredera y perno.
MOLDURA	RE	Remate de la fase central en líneas de redes de distribución.
OJO	RE	Uso para remate de aislamiento en redes y líneas aéreas de distribución.
PERNO	ANCLA 1PA	Anclaje de estructuras en redes y líneas de distribución y alta tensión.
PERNO	DR16X356	Armado de estructuras en líneas y redes eléctricas aéreas.
	DR 16PZ57	
	DR 161608	
PLACA	1PC	Espaciadores normalmente utilizados para soportar una carga de apriete con tornillos máquina, pernos doble, rosca, anclas y dispositivos que van conectados directo a las crucetas en líneas y redes de Media y Alta tensión.
	PR	Empleado para distribuir esfuerzos mecánicos o espaciadores en líneas y redes de Media y Alta tensión.
POSTE DE CONCRETO	PC-13-600	Poste de Concreto.
	PCR-12-750	Poste de Concreto reforzado.
PROTECTOR PARA RETENIDA	R1	Protector de todo tipo de retenidas en líneas de distribución eléctricas.
REGISTRO DE MEDIA TENSION	TN-RMTB4	Registro de media tensión de concreto hidráulico.
REMATE	P AG9	Remate preformado para cable de acero galvanizado.
	PRA 3/8	Uso en lugares en donde no se pueden utilizar herrajes de anclaje al poste.
RESTAURADOR	RPM-110-15-5-630-8000	Restauradores eléctricos para tensiones de 15 kV, 27 kV, y 38 kV.
	RPM-110-15-5-630-12000	



SOPORTE	CV1	Utilizado en la fijación de tirantes CV en estructuras de líneas eléctricas de media tensión tipo "H".
	DE NEOPRENO DE 2"X ½" 5" CON	Soporte y aislamiento de cables de energía.
TERMINAL	CONTRACTIL EN FRIO 15-2-E	Terminal diseñada para uso interior o exterior y niveles de tensión hasta 35 kV.
	CONTRACTIL EN FRIO 15-500-E	
	MODULAR-TMIEP 35-500	Intercambio de datos entre los niveles eléctrico y neumático del sistema de control.
	TERMOCONTRAC.EXT.2 AWG A 34.5 KV	Diseñadas para uso interior o exterior y niveles de tensión hasta 35 kV.
TIRANTE	T2	Soporte angular en las estructuras voladas.
TORNILLO MAQUINA	1633.726	Sujetar herrajes en estructuras en líneas y redes de media y alta tensión.
	167 564.326	
	19PZ06	
TRANSF	D3-30-33000-220Y/127	Transformador de distribución trifásico tipo poste.
TRANSF DE POTENCIA	ST-5-34.5/13.8-250/1	Transformador de potencia con relación de transformación de 34.5/13.8 kV
TUBO PAD	PARA TRANSICION DE 4"	Tubería para uso en instalaciones eléctricas de cableado subterráneo.
UTR	TIPO POSTE	Unidad terminal remota tipo poste.
VARILLA	P-ACSR-L-1/0	Proveer la conexión física para disipar la corriente eléctrica a tierra.
ZAPATA TERMINAL	CU-250-500	Zapata terminal de Cobre, punto en que un conductor de un componente eléctrico, dispositivo o red llega a su fin y proporciona punto de conexión.
	DE OJO 1/0-5/16	

Siguiendo normativas y diseños de subestaciones construidas por la CFE se anexan los materiales y el uso de cada uno de ellos.



### Localización de la propuesta para la Subestación Eléctrica



Figura 32 Localización de la propuesta para la nueva Subestación Eléctrica



Figura 33 Localización de la propuesta para la nueva Subestación Eléctrica

El terreno que se pretende utilizar para la construcción de la Subestación Eléctrica de bajo costo en el municipio de Larrainzar se encuentra en:

Latitud: 16.840161°

Longitud: -92.695891°

### Localización de alimentación de la Nueva Subestación Eléctrica del circuito CRI05020 en 34 kV



Figura 34 Localización de la propuesta del circuito alimentador CRI05020 en 34 kV

La alimentación de la Nueva Subestación Eléctrica de bajo costo en el Municipio de Larrainzar en el estado de Chiapas, será alimentada por el circuito CRI05020 en 34 kV como se muestra en la ilustración en color Verde.

### Localización del circuito de distribución LRZ04012



Figura 35 Localización de la propuesta del circuito de distribución LRZ04012 en 13.2 kV

De la nueva subestación eléctrica se derivan 2 circuitos, uno de ellos el circuito de distribución LRZ04012 en 13.2 kV referenciado en color rojo.

### Localización del circuito de distribución LRZ04022



Figura 36 Localización de la propuesta del circuito de distribución LRZ04022 en 13.2 kV

El otro circuito de distribución de la nueva subestación eléctrica es el LRZ04022 en 13.2 kV referenciado en color azul.

### Localización de los circuitos de alimentación y distribución



Figura 37 Localización de la propuesta con el circuito alimentador CRI05020 y los circuitos de distribución LRZ04012 y LRZ04022



CRI05020 Alimentador



LRZ04012 Distribución






LRZ04022 Distribución

**Microlización de la Subestación Eléctrica, Circuito Alimentador CRI05020, y circuitos de distribución LRZ04012 – LRZ04022**



**Figura 38** Microlización de la Subestación Eléctrica con el circuito alimentador y los circuitos de distribución

-  CRI05020 Alimentador. Protección (Interruptor)
-  LRZ04012 Distribución. Protección (Restaurador)
-  LRZ04022 Distribución. Protección (Restaurador)



## Anexos

### Planos de la Subestación:

Para la culminación del proyecto de la Subestación de M.T. en el municipio de Larrainzar es necesario desarrollar los planos necesarios para su análisis y posteriormente su construcción.

Se anexan 3 planos que son los siguientes :

- Plano de la Subestación Planta
- Plano de la Subestación Planta (Equipos)
- Diagrama Unifilar de la Subestación

El proyecto, planos, información y cálculos realizados en el Informe Técnico de Residencia pertenecen a la CFE, para su análisis y realización en los tiempos que se preveen en años posteriores.

**Plano de la Subestación Planta**

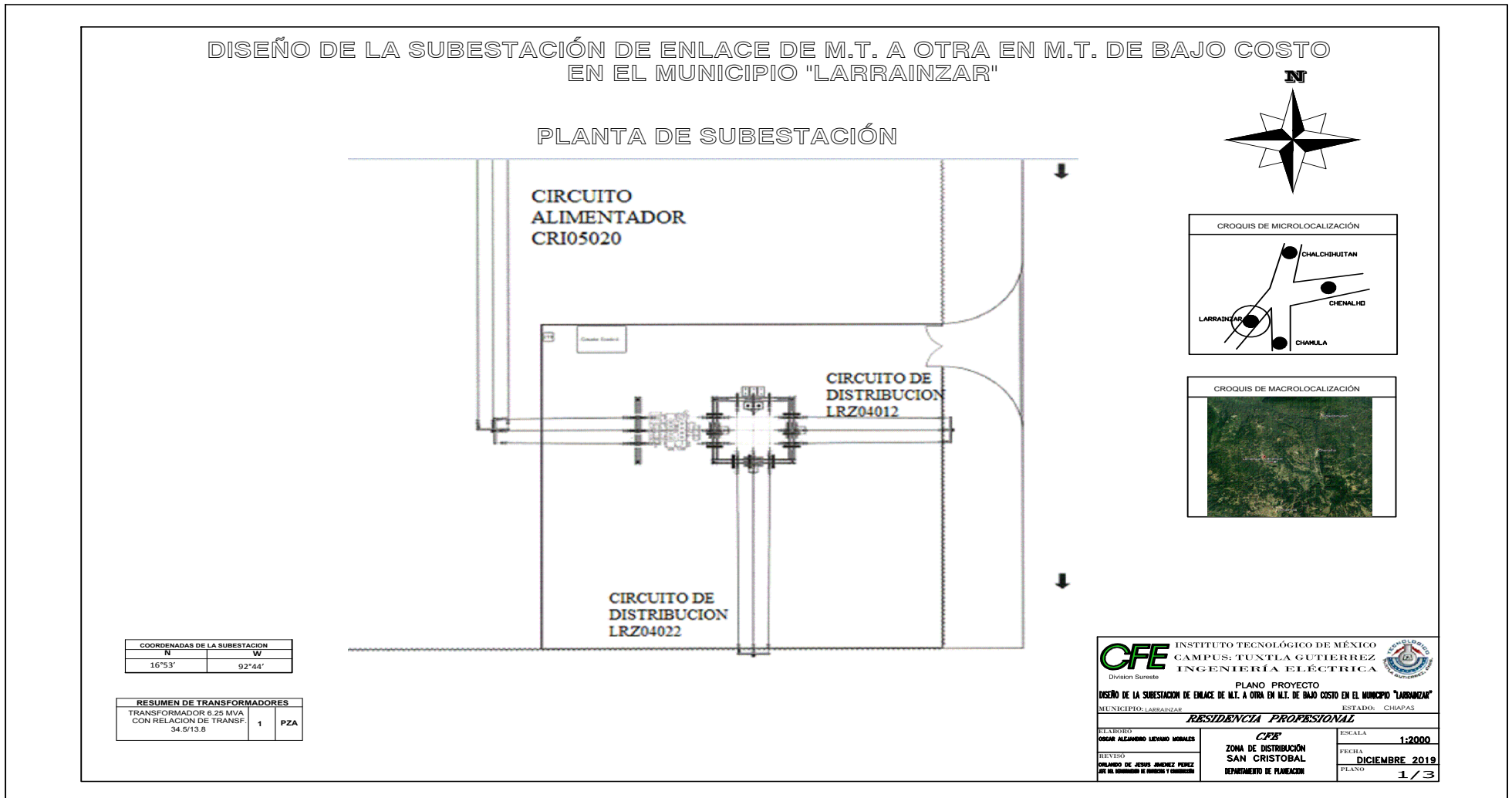


Figura 39 Plano de la Subestación Planta

Plano de la Subestación Planta (Equipos)

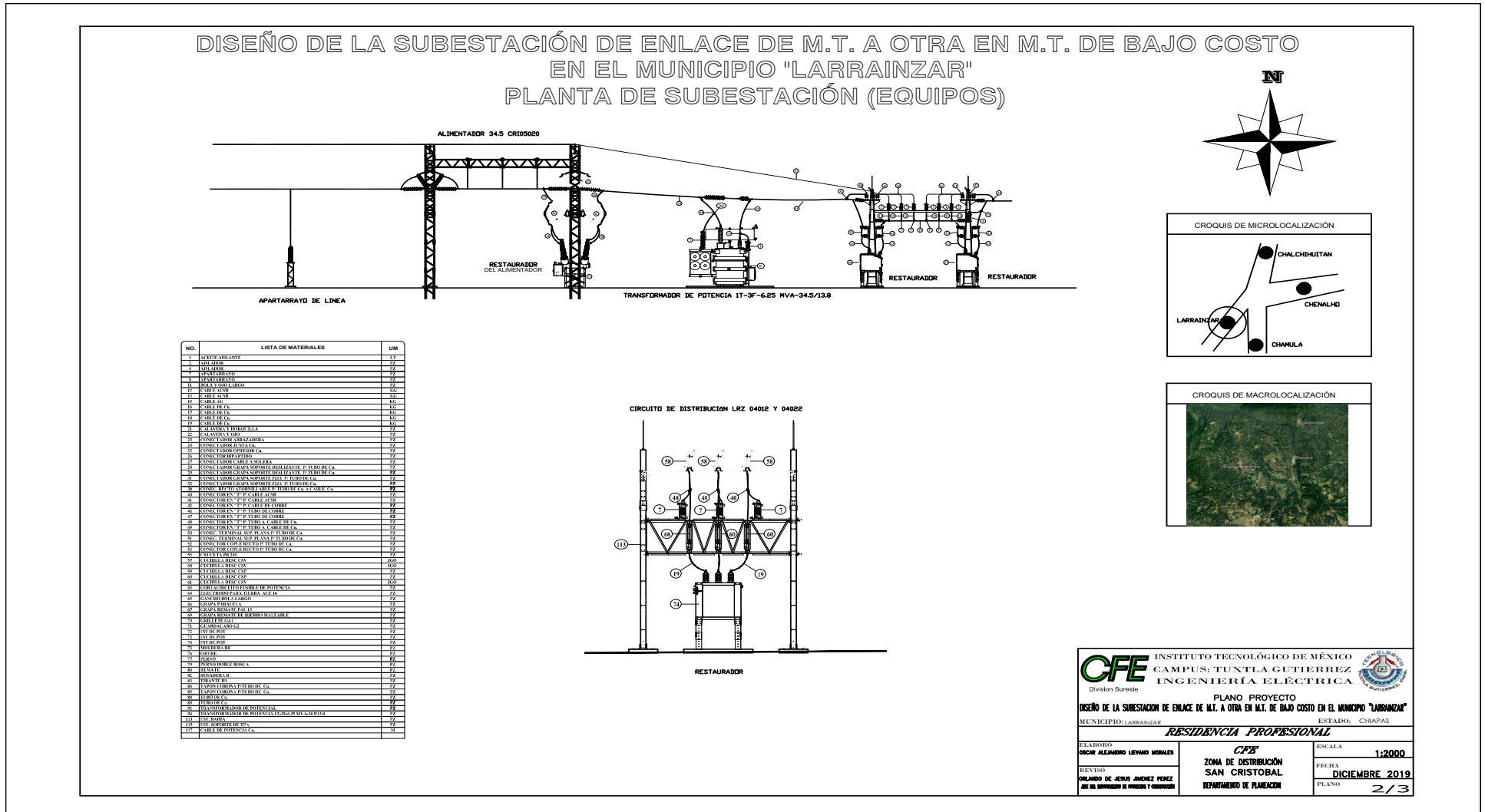


Figura 40 Plano de Subestación Planta (Equipos)

contacto@ittg.edu.mx

Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal: 599,

Tel. (961)61 5 04 61 Fax: (961)61 5 16 87

**Diagrama Unifilar de la Subestación**

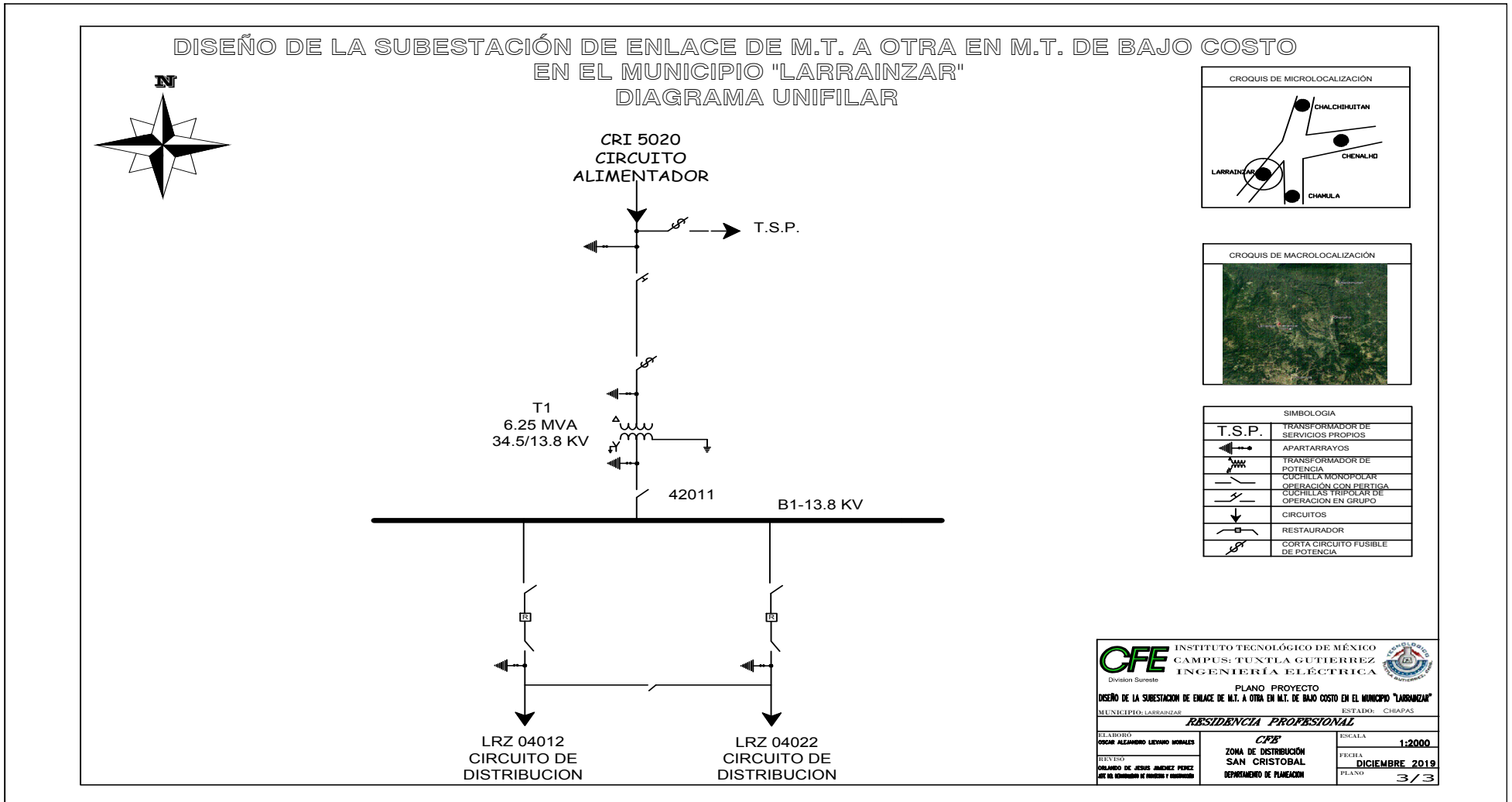


Figura 41 Diagrama Unifilar de la Subestación





## **Conclusión**

En base a los objetivos del presente Proyecto de Residencia, los cuales fueron llevar a cabo el desarrollo del diseño de una Subestación Eléctrica y el desarrollo de las especificaciones técnicas tomando en cuenta criterios de normatividad para subestaciones eléctricas y textos fidedignos en materia de diseño de subestaciones eléctricas.

Para obtener el resultado más satisfactorio fue necesario comprender y analizar cada uno de los elementos de una subestación eléctrica.

Con la construcción de la nueva S.E. en el municipio de Larrainzar se atenderá el incremento de los Sistemas de distribución además de evitar la saturación de los bancos de las subestaciones CRI (San Cristóbal) y CHE (Chenalhó) que atienden el suministro eléctrico en la zona de influencia, asegurando calidad y confiabilidad a los usuarios.

Los transformadores de potencia en la zona de influencia reducirán 4,852.67 kW de demanda, los circuitos actuales disminuirán sus pérdidas técnicas y mejorará la caída de tensión del suministro.

En cuanto a los circuitos, los tramos serán más cortos con la posibilidad de enlazarse con otras fuentes de respaldo en caso de alguna contingencia, ayudando a la detección más eficaz de las fallas reduciendo los indicadores de pérdidas de energía eléctrica.

El municipio de Larrainzar y comunidades aledañas como lo son: Bochil, Buena Vista, Chalotoj, Pechtón, Linda Vista, El Carmen, etc. en el estado de Chiapas tendrán una mejor calidad de la energía eléctrica asegurando la confiabilidad del servicio ayudando al desarrollo de las comunidades satisfaciendo demandas vitales.

Finalmente puedo concluir que la importancia de una Subestación Eléctrica es vital para solucionar las necesidades del suministro y regulación de energía eléctrica por el crecimiento demográfico de la zona y este caso en particular, reducir las pérdidas técnicas de energía eléctrica, disminuir la sobrecarga de los transformadores de potencia de las subestaciones, asegurando la calidad del suministro de energía eléctrica y garantizando la confiabilidad de las redes de distribución para el desarrollo de las comunidades que serán beneficiadas con la construcción de la misma, además de beneficios económicos para la empresa suministradora de energía CFE en el área de DISTRIBUCIÓN tomando en cuenta los criterios de rentabilidad para el crecimiento de la infraestructura eléctrica a corto, mediano y largo plazo.

## Recomendaciones

1.- Se deberán instalar rótulos de advertencia, peligro o riesgo para la seguridad del público y empleados por la presencia de la subestación a diseñar.



**Figura 42** Rotulo de advertencia de alta tensión

2.- Proponer mayores medidas de seguridad al dar mantenimiento a los equipos energizados, siguiendo protocolos para evitar accidentes.

3.- Antes de realizar alguna maniobra o mantenimiento de la Subestación Eléctrica, inspeccionar las herramientas para determinar si tienen daños o defectos que puedan afectar su operación para no poner en riesgo la seguridad de las personas que realizan los trabajos.

4.- Proporcionar equipos de seguridad a todo trabajador o visitante adecuados y en buen estado, de acuerdo a los riesgos existentes.



**Figura 43** Equipo de seguridad para Subestaciones Eléctricas

5.- Proveer de iluminación artificial (luminarias necesarias) en la Subestación eléctrica para realización de trabajos nocturnos.

6.- Indicar las distancias mínimas de seguridad para partes energizadas para evitar accidentes por contacto eléctrico teniendo en cuenta la siguiente tabla del Reglamento de Seguridad e Higiene Capítulo 100 de CFE. [8]

<b>Distancias mínimas de Seguridad (c. a. 60 Hz.)</b>	
<b>Tensión Nominal entre Fases (kV)</b>	<b>Distancia mínima de seguridad (m)</b>
<b>2,4 a 13,8</b>	<b>0,60</b>
<b>23</b>	<b>0,70</b>
<b>34,5</b>	<b>0,75</b>
<b>69</b>	<b>1,20</b>
<b>85</b>	<b>1,30</b>
<b>115</b>	<b>1,50</b>
<b>138</b>	<b>2,00</b>

Figura 44 Distancias mínimas de Seguridad

7.- Utilizar equipos de protección anti-fauna para evitar fallas por contacto eléctrico en los equipos eléctricos, ya que se trata de una zona rural donde es más propenso este peligro.



Figura 45 Disco Anti-fauna

- [8] Dirección General de Distribución, “REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE, CAPITULO 100”, CFE, Ciudad de México, 2018.



## Bibliografía

- Dirección General de Distribución, “MANUAL CFE DCDSEBPE, DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN”, CFE, Ciudad de México, 2014.
- Comisión Federal de Electricidad (2019). Información Administrativa. [Online]. Available: <http://www.cfe.mx>
- G. Enríquez Harper. *Elementos de diseño de Subestaciones Eléctricas*. 2da. Edición. Limusa Noriega Editores, 2013.
- (2014, Mayo 26). [Online]. Available: <http://www.lahistoriadelaelectricidad4b.blogspot.com>.
- Comisión Federal de Electricidad. (2019). [Online]. Available: <http://Inventario-war/instalación/subestación/index.jsf>
- F. Núñez. *Centrales de Generación y Subestaciones Eléctricas*. 1era. Edición. República Dominicana. Universidad APEC, 2015.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Características del sitio. México. [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx>.
- Dirección General de Distribución, “REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE, CAPITULO 100”, CFE, Ciudad de México, 2018.



## Competencias desarrolladas

Las competencias desarrolladas durante mi residencia profesional en la empresa Comisión Federal de Electricidad son las siguientes:

- ✓ Trabajo en equipo
- ✓ Análisis de problemas
- ✓ Planificación y organización
- ✓ Compromiso
- ✓ Control
- ✓ Iniciativa
- ✓ Sociabilidad
- ✓ Integridad
- ✓ Tenacidad
- ✓ Creatividad

El aprendizaje y experiencia personal profesional adquirida fue mucho mayor de lo que esperaba, adquirí aprendizaje, experiencia, compromiso, aspectos que han sido vitales en mi formación en el ramo eléctrico, ya que al trabajar en este entorno fue muy enriquecedor por todos los factores en los que se ve involucrada la Oficina de Planeación, Proyectos y Construcción en la empresa CFE (Comisión Federal de Electricidad).