INSTITUTO TECNOLOGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

REPORTE TECNICO DE RESIDENCIA PROFECIONAL

"Actualización del libro de operación y de la interoperabilidad de las subestaciones eléctricas de potencia Real de Bosque, Mactumatza y Tuxtla Sur del área urbana, zona Tuxtla"

Carrera: Ingeniería eléctrica

Presenta: Willian Velázquez Pérez

No. De Control: 14270541

Asesor interno: Ing. Osvaldo Brindis Velázquez

Asesor externo: Ing. Geovanny Maciel Aco Solís

.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Diciembre 2018

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 4

1.1. ANTECEDENTES 4
1.2. ESTADO DEL ARTE. 4
1.3. JUSTIFICACIÓN. 5
1.4. OBJETIVOS. 6
1.5. METODOLOGÍA. 6

2. FUNDAMENTO TEÓRICO 7

2.1. REDES DE DISTRIBUCIÓN. 7
2.2. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. 8
2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN. 9
2.3.1. Redes de distribución aéreas. 9
2.3.2. Redes de distribución subterráneas. 11
2.3.3. Redes de distribución urbana. 11
2.3.4. Redes de distribución rurales. 12
2.3.5. Redes de distribución para cargas residenciales. 12
2.3.6. Redes de distribución para redes comerciales. 12
2.3.7. Redes de distribución para cargas industriales. 12
2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS DE ACUERDO A LA CONFIABILIDAD. 12
2.5. ESTRUCTURACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN. 13
2.5.1. Sistema radial. 13
2.5.2. Estructura radial simple. 14
2.5.3. Sistemas radiales aéreos: 15
2.5.4. Estructura radial interconectada: 15
2.5.5. Sistema de anillos y mallas. 16
2.5.6. Estructura en anillo, radial subterránea. 17
2.5.7. Sistemas primarios. 17
2.5.8. Estructura con primario con doble alimentación. 19
2.5.9. Estructura con alimentadores selectivos. 19
2.5.10. Líneas de enlace. 20
2.6. ELEMENTOS DE CÁLCULO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN. 20
2.7. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA. 27
2.7.1. Tensiones del sistema eléctrico nacional (reportado por la CFE). 27
2.7.2. Tipos de subestaciones eléctricas. 27
2.7.3. Elementos principales de una subestación. 27
2.8. CONDUCTORES EN MEDIA TENSIÓN. 27
2.8.1. Componentes de un conductor eléctrico. 29
2.8.2. Aislante eléctrico. 31
2.8.3. Materiales aislantes para conductores eléctricos. 32
2.8.4. Características de los aislamientos para conductores eléctricos. 34
2.8.5. Conductores desnudos. 37
2.9. EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y SECCIONAMIENTO. 41
2.9.1. Cuchillas 41
2.9.2. Fusibles. 42
2.9.3. Interruptores. 45
2.9.4. Apartarrayos. 51
2.9.5. Restauradores para la media tensión 51
2.9.6. Seccionadores de media tensión. 52

3. DESARROLLO 53

3.1. ESTUDIO DE LOS DIAGRAMAS. 53

3.1.1. Comparación de diagramas. *56*
3.2. RECORRIDO DE CIRCUITOS. 56
3.3. ACTUALIZACIÓN DE LOS DIAGRAMAS. 58
3.3.1. Actualización del diagrama de Switcheo. *59*
3.3.2. Actualización del diagrama unifilar. *62*
4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES 67
4.1. RESULTADOS. 67
4.2. CONCLUSIÓN. 69
5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 70
6. ANEXOS 72

1. Introducción

1.1.Antecedentes

El problema surge a raíz de que las redes de distribución día a día van creciendo con la finalidad de satisfacer las necesidades de los usuarios en el ámbito eléctrico, aumentando la demanda de energía eléctrica, lo que trae consigo que se realicen modificaciones a las líneas de media tensión como son la reubicación de los sistemas de protección y seccionamiento y alargar o reducir tramos de circuitos.

Actualizar el libro de operaciones y de interoperabilidad de las subestaciones RDB, MAA Y TXS surge por motivo que la empresa comisión federal de electricidad (CFE distribución) necesita tener información fidedigna y la más actual posible sobre los sistemas de protección y seccionamiento que conforman las subestaciones ya antes mencionadas y sus respectivos circuitos.

Tener información actualizada de los diagramas unifilares de las subestaciones, del diagrama de Switcheo y el plan de contingencias es necesario en caso de disturbios o condiciones que alteren las condiciones normales de operación del sistema, para que la empresa tenga información necesaria para poder planear las maniobras de restablecimiento del servicio en un lapso de tiempo más corto de lo habitual y con todas las medidas de seguridad que se requieren.

1.2.Estado del Arte.

Proyecto piloto para la determinación de los índices de calidad del servicio técnico, en la prestación del servicio de energía eléctrica, por parte de la EERSSA en los cuatro alimentadores primarios atendidos desde la subestación San Cayetano en la ciudad de Loja.

Autores: Muñoz Vizhñay, Jorge Patricio, Montalvo Zúñiga, Luis Govani, Pineda Bailón, Reinaldo Bolívar.

Proyecto el cual está dirigido principalmente a la obtención de los índices de Calidad de Servicio técnicos de los alimentadores de la subestación San Cayetano de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. de Loja, bajo la regulación No CONELEC 004/01 en lo referente a la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, con la finalidad de mejorar el servicio eléctrico y realizar un plan de sugerencias de mantenimiento preventivo y correctivo a las redes de distribución de media tensión. [1]

Requerimientos técnicos de los manuales de operación de subestaciones del SNT, con aplicación a la S/E Pucará.

Autores: Ruiz Romero, Jaime David.

Se definen los requisitos técnicos de información que deben de presentar los manuales de operación de las subestaciones, su importancia que tienen en el soporte logístico para el personal que elabora en la empresa, justificando su elaboración y necesidad con el

propósito de proponer una metodología base para la elaboración de uno y el cual pueda ser utilizado en varias subestaciones. [2]

Estudio de factibilidad de la automatización de la subestación Santa Rosa de Transelectric.

Autores: Cuasmiquer Rosero, Christian Raúl, Naranjo Briceño, Silvia María.

El proyecto tiene como fin el determinar la factibilidad técnica económica de la automatización de la Subestación Santa Rosa, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de los sistemas de control, supervisión, protección y comunicaciones para crear una propuesta atractiva de automatización a las subestaciones de la empresa Transelectric. [3]

Los sistemas de información geográfico como herramienta para la proyección de la demanda de energía eléctrica en CNEL (Corporación Nacional de Electricidad) Regional El Oro.

Autores: Resl, Richard (dir), Ajila Chapín, Agustín Alberto.

El objetivo es establecer, en base a una proyección de demanda, la evolución de los sistemas de sub-transmisión y distribución para luego formular planes adecuados de obras que aseguren las condiciones de servicio y de operación. Bajo estas condiciones se impulsa la utilización se los Sistemas de Información Geográfico, la cual se propone como una excelente herramienta. [4]

Revisión y actualización de las consignas de operación y consignas de falla de las subestaciones del CTE Centro.

Autores: Eidan Adrián Llanos Ochoa.

El proyecto consiste en revisar las consignas de operación y las consignas de fallas de las subestaciones del CTE Centro, para poder actualizarlo ya que se encuentran desactualizados, con errores y sin normas. Lo anterior es con la finalidad de que se tenga información fidedigna de la información de las mejoras y de los proyectos nuevos en los que se han trabajado. [5]

1.3.Justificación.

El proyecto a desarrollar pretende aportar información fidedigna en el libro de operaciones y de interoperabilidad que la Comisión Federal de Electricidad maneja para las subestaciones de Real del Bosque (RDB), Matematiza (MAA) y Tuxtla Sur, con la finalidad de tener información actualizada en los diagramas de Switcheo, en los diagramas unifilares así como en el plan de contingencias.

Para obtener la información que se necesita para realizar la actualización se hace necesario la inspección minuciosa de manera presencial a las subestaciones ya antes mencionadas y a los circuitos que los conforman para identificar los equipos de protección y seccionamientos que los conforman actualmente. Con los datos obtenidos en el levantamiento se tendrán bases suficientes para proceder a hacer los cambios que sean necesarios en el libro de operaciones e interoperabilidad.

La solución que se plantea en este proyecto es el más confiable que se le puede dar a la problemática aquí descrita ya que al realizar el levantamiento de manera presencial se tiene una certeza de que los datos obtenidos son prácticamente cien por ciento confiables. El desarrollo del proyecto también se puede realizar con la ayuda de la aplicación de Google Earth, pero esta herramienta proporciona información obtenida hasta el año 2017, lo que no la hace muy confiable.

1.4.Objetivos.

Objetivo general.

Actualizar el libro de operación y de la interoperabilidad, con la finalidad de proporcionar información fidedigna sobre la ubicación de los equipos de protección y seccionamiento de las subestaciones Real del Bosque (RDB), Mactumatza (MAA), Tuxtla Sur y del plan de contingencias.

Objetivos específicos.

- Actualización de los diagramas unifilares y diagramas de Switcheo de las subestaciones RDB, MAA y TXS.
- Tener información fidedigna de cada equipo instalado en los circuitos, como es sus ubicaciones y el número de interoperabilidad de cada uno de ellos.
- Proporcionar datos reales al sistema de CFE distribución al momento de capturar falla.

1.5.Metodología.

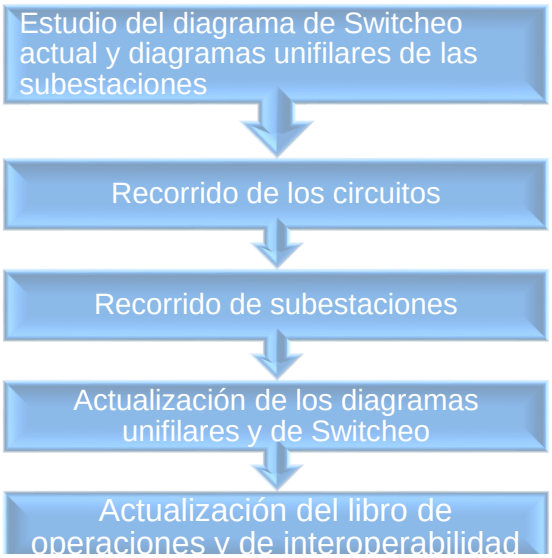


Fig. 1.1 *Diagrama de bloques del hardware*

- **Estudio del diagrama de Switcheo actual y diagramas unifilares de las subestaciones.**

  La empresa proporcionara los documentos en digital los cuales se requieren actualizar, primeramente se hará un estudio de los que se tienes actualmente para

proceder a crear una estrategia de cómo se harán los trabajos de recorrido a las subestaciones y circuitos.

- **Recorrido de los circuitos.**

  Se recorrerán de manera presencial los circuitos que conforman a cada una de las subestaciones, realizando un levantamiento de todos los equipos que los conforman como son los de protección, seccionamiento y los transformadores, georreferenciándolos, primero se recorrerán los circuitos de la subestación Tuxtla Sur, después los de la subestación Mactumatza y por último los de la subestación Real del Bosque.

- **Recorrido de subestaciones.**

  De marera presencial de realizará la inspección de las subestaciones, identificando los equipos de protección y seccionamiento que las conforman.

- **Actualización de los diagramas unifilares y de Switcheo.**

  Se comparan los datos obtenidos durante el recorrido de los circuitos y de las subestaciones, se comparan con lo que ya se tenían y se procederá a actualizar todo lo que sea necesario.

- **Actualización del libro de operaciones y de interoperabilidad.**

  Por último se realizara la actualización del libro de operaciones y de interoperabilidad en donde se encuentra el plan de contingencias, todo esto se realizara de acuerdo a los datos obtenidos con anterioridad.

2. Fundamento teórico

2.1. Redes de distribución.

Un sistema eléctrico de distribución es el conjunto de máquinas, de aparatos, de barras y de líneas que constituyen un circuito con una determinada tensión nominal. Los sistemas eléctricos pueden clasificarse por su nivel de tensión, El sistema de distribución transporta la potencia eléctrica de las subestaciones de distribución a los clientes individuales, en voltajes que quedan en el rango de 34.5, 23, 138, 6.6 o 4.2 KV. [6]

Aproximadamente las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia, están dedicados a la parte de distribución (Gigante Invisible), lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, diseño y construcción y en la operación del sistema de distribución, lo que requiere manejar una información voluminosa y tomar numerosas decisiones, lo cual es una tarea compleja pero de gran trascendencia. [7]

La distribución de energía eléctrica es una actividad cuyas técnicas están en un proceso constante de evolución reflejada en el tipo de equipos y herramientas utilizadas, en los tipos de estructuras, en los materiales con los que se construyen las redes de distribución y en los métodos de trabajo de las cuadrillas de construcción y mantenimiento, reflejada también en la metodología de diseño y operación empleando computadores (programas de gerencia de redes, software gráfico, etc.). [7]

2.2. Requisitos que debe cumplir un sistema de distribución.

El proyecto para la construcción de las instalaciones debe de considerar la menor longitud, menor números de estructuras, operación simple y segura, costo mínimo del mantenimiento, asegurar el cumplimiento de los compromisos de suministros ofertados a los clientes, salvaguardar la integridad y propiedad de la población, debiendo prever y valorar los puntos siguientes:

- **a)** Aplicación de normas nacionales y/o internacionales.
- **b)** Seguridad para el personal y equipos.
- **c)** Simplicidad en la construcción y operación (rapidez en las maniobras).
- **d)** Facilidades de alimentación desde el sistema de potencia.
- **e)** Optimización de costos (economía).
- **f)** Mantenimiento y políticas de adquisición de repuestos.
- **g)** Posibilidad de ampliación y flexibilidad.
- **h)** Resistencia mecánica.
- **i)** Entrenamiento del personal.
- **j)** Confiabilidad de los componentes. Continuidad del servicio
- **k)** Información relacionada con la zona del proyecto (ubicación, altitud, vías de acceso).
- **l)** Información relacionada con las condiciones climáticas (temperatura, precipitaciones, velocidad del viento, contaminación ambiental).
- **m)** Información particular referente a: requerimientos técnicos de los clientes, ubicación de cargas especiales e industriales, plano loteado (que contenga zona residencial, comercial, importancia de las calles, ubicación de otras instalaciones, nivel socioeconómico, relación con otros proyectos en la zona y características geotécnicas).
- **n)** Regulación de tensión (niveles máximos admisibles).
- **o)** Pérdidas de energía (niveles máximos admisibles).
- **p)** Control de frecuencia.

El problema de la distribución es diseñar, construir, operar y mantener el sistema de distribución que proporcionará el adecuado servicio eléctrico al área de carga a considerarse, tomando en cuenta la mejor eficiencia en operación. Desafortunadamente, no cualquier tipo de sistema de distribución puede ser empleado económicamente hablando en todas las áreas por la diferencia en densidad de carga.

Para diferentes áreas de carga o incluso para diferentes partes de la misma área de carga, el sistema de distribución más efectivo podría tomar diferentes formas. El sistema de distribución debe proveer servicio con un mínimo de variaciones de tensión y el mínimo de interrupciones, debe ser flexible para permitir expansiones en pequeños incrementos así como para reconocer cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos.

Esta flexibilidad permite guardar la capacidad del sistema cercana a los requerimientos actuales de carga y por lo tanto permite que el sistema use de manera más efectiva la infraestructura. Además y sobre todo elimina la necesidad para predecir la localización y magnitudes de las cargas futuras. Los sistemas pueden ser por cableado subterráneo, cableado aéreo, cableado abierto de conductores soportado por postes o alguna combinación de estos. [7]

2.3. Clasificación de las redes de distribución.

2.3.1. Redes de distribución aéreas.

Las tensiones de transmisión se reducen en la subestación para su distribución al área local. Cada subestación suministra a su área local a través de los alimentadores de distribución que operan en tensiones que van desde 2.4 kV hasta los 64 kV. Los transformadores de poste en la red aérea reducen las tensiones de distribución hasta 120 / 240 V para los alimentadores secundarios que van hacia los clientes. Las partes principales de un sistema aéreo son esencialmente: Las estructuras metálicas, incluyendo los postes de alumbrado, canalizaciones metálicas, marcos, tanques, y soporte del esquipo de líneas, cubiertas metálicas de los cables aislados, manijas o palancas metálicas para operación de equipo, así como los cables mensajeros, deben estar puestos a tierra efectivamente de tal manera que durante su operación no ofrezcan peligro a personas o animales.

Postes: que pueden ser de madera, concreto o metálicos y sus características de peso, longitud y resistencia a la rotura son determinadas por el tipo de construcción de los circuitos. Son utilizados para sistemas urbanos postes de concreto de 14, 12 y 10 metros con resistencia de rotura de 1050, 750 y 510 kg respectivamente. Soportan los cables aéreos desnudos que transportan y/o distribuyen la electricidad. [7]

Postes de madera: El campo de aplicación de este tipo de apoyos es casi exclusivamente en baja tensión y están en claro desuso, aunque es posible encontrar algún tipo de poste de madera en alguna línea de media tensión. Como ventajas podemos decir que son fáciles de transportar gracias a su ligereza y bajo precio. Como desventajas se puede apuntar su vida media relativamente corta, suele ser de unos 10 años, la putrefacción es la mayor causa de deterioro.

Postes de hormigón armado: Este tipo de poste es el que más se utiliza en redes de baja tensión. La ventaja principal de este tipo de postes es su duración ilimitada además de no necesitar mantenimiento (siempre y cuando no sufran daños por terceros). El mayor inconveniente es el precio con respecto a los postes de madera y que al ser más pesados se incrementan los gastos en el transporte.

Postes de hormigón armado vibrado: Con la finalidad de mejorar las cualidades del hormigón armado se fabrican este tipo de postes. Suelen tener una altura entre los 7 y 18 m y su sección es rectangular o en forma de doble T. La principal ventaja (que hace que sean los más utilizados) de este tipo de postes es que se puede fabricar en el lugar de su implantación y así ahorrarse los gastos en transportes.

Postes de hormigón armado centrifugado: Este tipo de postes se emplea desde electrificaciones en ferrocarriles, en líneas rurales en baja tensión y alta tensión incluidas líneas de 220 KV, además en combinación con varios postes se pueden realizar configuraciones de apoyos en ángulo, derivación, anclaje, etc. No son empleados en lugares de difícil acceso precisamente porque su fabricación no puede realizarse en talleres provisionales.

Postes metálicos de presilla: Básicamente está constituido por dos tramos ensamblados por tornillos. Cada tramo está formado por 4 montantes angulares de ala iguales unidos entre sí por presillas soldadas de ahí el nombre. La cabeza o tramo superior tienen una

longitud de 6m y la parte inferior se puede configurar con diferentes tramos para obtener alturas de 10, 12, 14, 18 y 20 m.

Postes metálicos de celosía: Este tipo de poste se emplea prácticamente en las altas tensiones, desde medias tensiones hasta muy altas tensiones, es decir, en líneas de 3ª, 2ª y 1ª categoría. Su forma y dimensiones dependerán de los esfuerzos a los que esté sometido, de la distancia entre postes y la tensión de la línea. Una celosía es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales).

Conductores: Son utilizados para circuitos primarios el Aluminio y el ACSR desnudos y en calibres 4/0, 2/0, 1/0 y 2 AWG y para circuitos secundarios en cables desnudos o aislados y en los mismos calibres. Estos circuitos son de 3 y 4 hilos con neutro puesto a tierra, hilo de guarda y neutro corrido. Paralelo a estos circuitos van los conductores de alumbrado público.

Crucetas: son utilizadas crucetas de madera inmunizada o de ángulo de hierro galvanizado de 2 metros para 13.2 kV. Y 11.4 kV. Con diagonales en varilla o de ángulo de hierro (pie de amigo). Se utilizan para soportar los conductores instalados en los postes de hormigón. Son metálicas, construidas con perfiles de acero galvanizado, unidos mediante tornillos. Los tipos más frecuentes son las crucetas tipo bóveda, utilizadas para suspensión, y las rectas cuya aplicación fundamental es amarre.

Aisladores: 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. Son de tipo ANSI 55.5 para media tensión (espigo y disco) y ANSI 53.3 para baja tensión (carretes).

Herrajes: Todos los herrajes utilizados en redes aéreas de baja y mediana tensión son de acero galvanizado. (Grapas, varillas de anclaje, tornillos de máquina, collarines, úes, espigos, etc.), se utilizan para transmitir a la estructura directamente o a través de la cadena de aisladores, los esfuerzos producidos por el peso del cable, la fuerza del viento, los esfuerzos de tracción de los cables debido a la carga mecánica y a los ángulos de flexión de las líneas.

Equipos de seccionamiento: El seccionamiento se efectúa con cortacircuitos y seccionadores monopolares para operar sin carga (100 A - 200 A), se utilizan para separar o unir de forma visible diferentes elementos y componentes de una instalación, de forma que no se interrumpa el funcionamiento del resto de la instalación de las redes de distribución.

Transformadores y protecciones: Se emplean transformadores monofásicos con los siguientes valores de potencia o nominales: 25 - 37.5 - 50 - 75 kVA y para transformadores trifásicos de 30 - 45 - 75 -112.5 y 150 kVA protegidos por cortacircuitos, fusible y pararrayos tipo válvula de 12 kV. En caco de alguna falla en el sistema de distribución o ya sea por una descarga atmosférica. [8]

2.3.2. Redes de distribución subterráneas.

Son empleadas en zonas donde por razones de urbanismo, estética, congestión o condiciones de seguridad no es aconsejable el sistema aéreo. Actualmente el sistema subterráneo es competitivo frente al sistema aéreo en zonas urbanas céntricas. Las ventajas que se tienen es que son mucho más confiable ya que la mayoría de las contingencias mencionadas en las redes aéreas no afectan a las redes subterráneas, son más estéticas, no están a la vista, son mucho más seguras.

Entre las desventajas se encuentra su alto costo de inversión inicial, se dificulta la localización de fallas, el mantenimiento es más complicado y reparaciones más demoradas, están expuestas a la humedad y a la acción de los roedores. Los conductores utilizados son aislados de acuerdo al voltaje de operación y conformados por varias capas aislantes y cubiertas protectoras. Estos cables están directamente enterrados o instalados en bancos de ductos con cajas de inspección en intervalos regulares. Algunos componentes con los que cuanta son:

Ductos: que pueden ser de asbesto cemento, de PVC o conduit metálicos con diámetro mínimo de 4 pulgadas. En un banco de ductos se recomienda que exista una separación mínima de 7 cm de concreto entre uno y otro ducto. El número de ductos de cada banco dependerá de las necesidades del cliente, siendo recomendable instalar un ducto adicional como mínimo para reserva.

Cables: Pueden ser monopolares o tripolares aislado en polietileno de cadena cruzada XLPE, de polietileno reticulado EPR, en caucho sintético y en papel impregnado en aceite APLA o aislamiento seco elastomérico en calibres de 500 - 400 - 350 - 250 MCM, 4/0 y 2/0 AWG en sistemas de 13.2 kV, 7,6 y 4,16 kV. A pesar de que existen equipos adecuados, resulta difícil y dispendioso localizar las fallas en un cable subterráneo y su reparación puede tomar mucho tiempo.

Cámaras: que son de varios tipos siendo la más común la de inspección y de empalme que sirve para hacer conexiones, pruebas y reparaciones. Deben poder alojar a 2 operarios para realizar los trabajos. Allí llegan uno o más circuitos y pueden contener equipos de maniobra, son usados también para el tendido del cable. La distancia entre cámaras puede variar, así como su forma y tamaño. [7]

2.3.3. Redes de distribución urbana.

Los programas de distribución urbana son desarrollados individualmente por cada empresa de energía y la mayoría de las veces son planes de remodelación y recuperación de pérdidas. Las principales características de las redes de distribución urbana son las siguientes: Usuarios muy concentrados, cargas bifilares, trifilares y trifásicas, Facilidad de acceso, en general se usa postería de concreto, es necesario coordinar los trazados de la red eléctrica con las redes telefónicas, redes de acueducto, alcantarillados y otras redes.

Igualmente tener en cuenta los parámetros de las edificaciones, se usan conductores de aluminio, ACSR y cobre, transformadores generalmente trifásicos en áreas de alta densidad de carga y monofásicos trifilares en áreas de carga moderada, el trabajo en general puede ser mecanizado, la separación entre conductores y estructuras de baja tensión y media tensión son menores en caso de remodelaciones y arreglos es necesario coordinar con las empresas de energía los cortes del servicio. [7]

2.3.4. Redes de distribución rurales.

Son evidentes las enormes ventajas de disponer de energía eléctrica en las zonas rurales del país. Nadie pone en cuestión la necesidad de dotar a dichos núcleos (corregimientos o extensiones territoriales distintas de las aglomeraciones urbanas o suburbanas que comprenden las zonas de explotaciones agrícolas, pecuarias o forestales y localidades que no sobrepasen los 3000 habitantes, excluyendo los sectores turísticos, residenciales o industriales) de un suministro eléctrico seguro y eficiente.

También es cierto que de estas instalaciones eléctricas no se deriva una pura rentabilidad económica ya que los montos elevados de las inversiones necesarias no quedan remunerados por los relativamente escasos originados por la venta de la electricidad, puesto que los consumos per cápita son muy inferiores a los correspondientes a las zonas urbanas e industriales. Por lo mismo, la mejor justificación de un plan de electrificación rural estriba en sus efectos sociales.

La electrificación rural se orienta, ante todo, a satisfacer una necesidad primaria, cual es el alumbrado de viviendas y de los asentamientos rurales, pasando luego a atender otras exigencias menos perentorias y que producen una mayor "Calidad de vida", como los aparatos domésticos y la industrialización agropecuaria. Es necesario, ante todo, realizar un inventario de todas las colectividades rurales, para después, en base a criterios técnicos razonables, desarrollar los proyectos oportunos para remediar las carencias. [9]

2.3.5. Redes de distribución para cargas residenciales.

Comprenden básicamente los edificios de apartamentos, multifamiliares, condominios, urbanizaciones, etc. Estas cargas se caracterizan por ser eminentemente resistivas (alumbrado y calefacción) y aparatos electrodomésticos de pequeñas características reactivas. De acuerdo al nivel de vida y a los hábitos de los consumidores residenciales y teniendo en cuenta que en los centros urbanos las gentes se agrupan en sectores bien definidos, de acuerdo a las clases socioeconómicas. [10]

2.3.6. Redes de distribución para redes comerciales.

Caracterizadas por ser resistivas y se localizan en áreas céntricas de las ciudades donde se realizan actividades comerciales, centros comerciales y edificios de oficinas o donde se concentren este tipo de edificaciones. Tienen algún componente inductivo que bajan un poco el factor de potencia. Hoy en día predominan cargas muy sensibles que introducen armónicos. [10]

2.3.7. Redes de distribución para cargas industriales.

Que tienen un componente importante de energía reactiva debido a la gran cantidad de motores instalados. Con frecuencia se hace necesario corregir el factor de potencia. Además de las redes independientes para fuerza motriz es indispensable distinguir otras para calefacción y alumbrado. A estas cargas se les controla el consumo de reactivos y se les realiza gestión de carga pues tienen doble tarifa (alta y baja) para evitar que su pico máximo coincida con el de la carga residencial. [10]

2.4. Clasificación de las cargas de acuerdo a la confiabilidad.

Cargas de primera categoría: Son aquellas en las que una interrupción corta en el suministro de energía eléctrica causa importantes perjuicios al consumidor (riesgo de muerte, daños en procesos de fabricación en masa, daños a equipos costosos como computadores y

máquinas controladas por sistemas electrónicos, centros hospitalarios, sistemas masivos de transporte, etc.). Estas cargas deben tener sistemas alternos de alimentación con conmutación automático y plantas de emergencia (autogeneración).

Cargas de segunda categoría: Bajo esta categoría se clasifican todas las cargas en las que una pequeña interrupción (no mayor de 5 minutos), no causa grandes problemas al consumidor. Pertenecen a este grupo las fábricas medianas que no tienen complicados y delicados procesos de fabricación pero que causan desocupación de empleados y obreros, etc.

Cargas de tercera categoría: Se clasifican aquí el resto de consumidores, los cuales pueden tener un tiempo de interrupción en un intervalo, en un mes durante el cual no se causa mayores perjuicios. Son entonces los usuarios residenciales, poblaciones rurales, pequeñas fábricas, etc. La CREG (Comisión Reguladora de Energía y Gas) ha establecido como metas para el DES y FES de 3 y 9 respectivamente. [9]

2.5. Estructuración de las redes de distribución.

2.5.1. Sistema radial.

En el sistema radial la corriente eléctrica circula en una sola dirección, lo que ofrece un control sencillo del flujo ya que es realizado exclusivamente del centro de alimentación. El sistema radial es análogo a una rueda con rayos emanando desde el centro. Es el sistema de alimentación en el cual cada carga está unida con el centro de alimentación a través de un cable exclusivo, es característico de las instalaciones industriales en el nivel de alimentación de las cargas.

El sistema de alimentación en el cual un solo cable va pasando por todas las cargas sucesivamente. Este sistema obliga a tener los dispositivos de control de las cargas distribuidos, uno en correspondencia de cada derivación de carga, salvo que simplemente se conecten y desconecten todas las cargas juntas desde el centro de alimentación. Una mezcla entre los dos sistemas podemos llamarla arborescente, el cable nace troncal en el centro de alimentación, y se subdivide en ramas y más ramas, llegando hasta las cargas.

El cálculo de la red es simple, el flujo de carga se puede desarrollar suponiendo perdidas nulas, la carga que pasa por una rama cualquiera es suma de todas las cargas comprendidas entre esa rama y las hojas. Se caracteriza por la alimentación por uno solo de sus extremos transmitiendo la energía en forma radial a los receptores y el emisor. Además presenta un cableado en las partes. [11]

La principal ventaja de un arreglo radial es que son simples y económicos, y su principal desventaja es que cualquier problema generalmente deja a un número de usuarios fuera de servicio hasta que el problema se resuelva; de hecho, los sistemas de sub-transmisión radiales no se usan. Una modificación a un sistema de sub-transmisión radial se usa cuando dos líneas de sub-transmisión radiales en paralelo están aprovisionadas para transferir la carga a una línea no fallada en el evento de una falla en una de las líneas. [6]

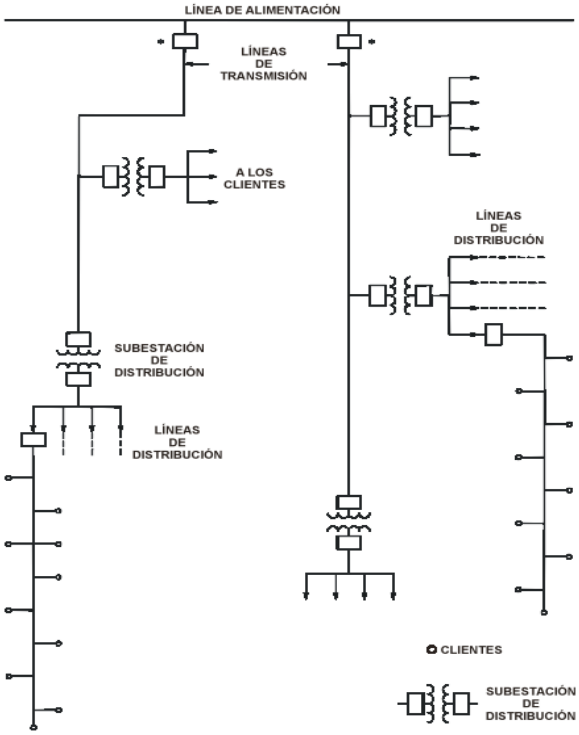


Fig. 2.1.1 *Sub-transmisión y distribución radial*

2.5.2. Estructura radial simple.

Este tipo de estructura es sencilla de instalar y su operación resulta económica, se aplica por lo general en zonas habitacionales o zonas comerciales que se consideren como no muy importantes, se puede aplicar como dispositivo de protección los interruptores termomagnéticos de baja tensión. Esta estructura, aun cuando resulta relativamente económica, tiene la desventaja de que una falla en los circuitos o salida del transformador, deja fuera de servicio a los clientes que están después del punto de falla. [6]

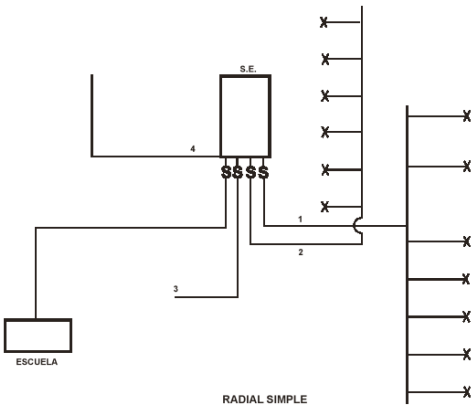


Fig. 2.1.2 *Estructura radial*

2.5.3. Sistemas radiales aéreos:

Los sistemas de distribución radiales aéreos se usan generalmente en las zonas urbanas, subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan los transformadores suburbanas y en las zonas rurales. Los alimentadores primarios que parten de la de distribución, que están también montados sobre postes. En regiones rurales, donde la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro.

En regiones urbanas, con mayor densidad de carga se utiliza también el sistema radial, sin embargo, presenta puntos de interconexión los cuales están abiertos, en caso de emergencia, se cierra para permitir pasar parte de la carga de un alimentador a otro, para que en caso de falla se pueda seccionar esta y mantener su operación al resto mientras se efectúa la reparación.

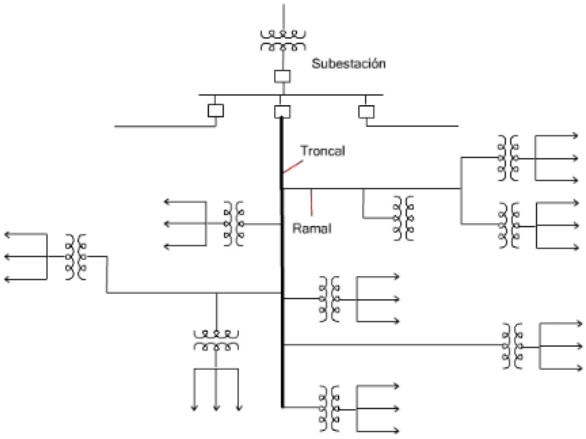


Fig. 2.1.3 *Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial*

2.5.4. Estructura radial interconectada:

Este tipo de estructura, se usa preferentemente en zonas habitacionales o comerciales consideradas como de tipo medio, donde la continuidad es importante. Tiene la ventaja de que permite transferir carga de baja tensión de un alimentador a otro usando las cajas o buses de seccionamiento, con lo cual es posible dar libranzas para mantenimiento, la protección se puede hacer con interruptores termomagnéticos de baja tensión, o bien con fusibles. [9]

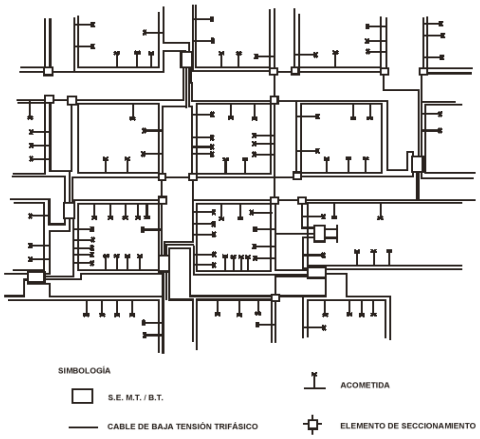


Fig. 2.1.4 *Estructura radial interconectada*

2.5.5. Sistema de anillos y mallas.

Esta topología se utiliza en situaciones en las que queremos aumentar la fiabilidad del servicio, ya que si hay una avería en un punto del anillo, se puede mantener dicho servicio si alimentamos desde otro punto. Buscando soluciones a la debilidad desde el punto de vista de seguridad de alimentación, se plantean redes de mayor complejidad. Los esquemas radiales se pueden duplicar, radial doble, y cada carga puede seleccionar si se alimenta desde un cable o el otro, o bien una línea que alimenta muchas cargas puede terminar en otro centro de alimentación, alimentarse desde ambas puntas, formando un anillo.

Si a un sistema arborescente se le agregan más ramas entre nodos ya existentes, se forma un sistema mallado. El sistema mallado puede tener también más puntos de alimentación. Frecuentemente en el nivel de distribución el funcionamiento de las redes, aun teniendo estructura mallada es radial, es decir se abren cierta cantidad de ramas a fin de poder alimentar todas las cargas y la red queda radial.

En caso de pérdida de un cable en servicio se conectan otros cables (que estaban desconectados) a fin de que nuevamente la red con un nuevo esquema radial preste servicio a todos los usuarios, se puede decir que la red mallada funciona como red radial dinámica (que cambia). Si se desea mantener las mallas cerradas, debe considerarse que los sistemas de protecciones deberán garantizar el buen funcionamiento separando exclusivamente el tramo que en cada condición se encuentre en falla. [6]

El arreglo en lazo o malla es más costosa que la de arreglo radial, debido a que requiere más equipo, pero cualquier punto sobre la línea tiene servicio desde dos direcciones. Si alguna está fuera, el cliente se puede alimentar desde otra dirección, los switches se deben colocar periódicamente alrededor de la malla, para que la sección que no funcione correctamente se pueda reparar sin retirar una parte grande de la línea de servicio. El arreglo en malla es bastante confiable pero también costoso. [9]

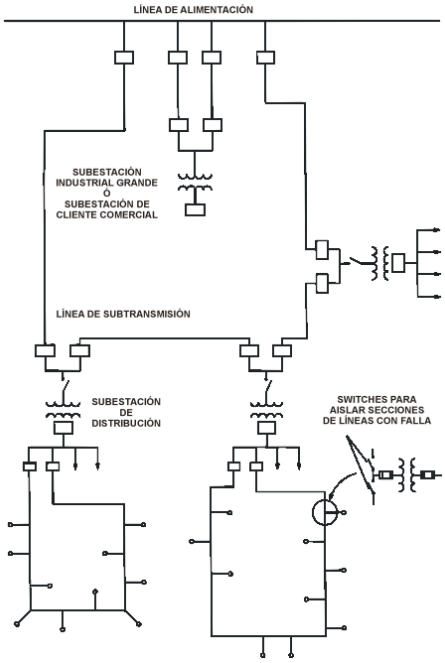


Fig. 2.1.5 *esquema básico de un sistema de anillos y mallas*

2.5.6. Estructura en anillo, radial subterránea.

En esta estructura se tienen circuitos de igual sección, que pueden estar derivados de una o varias fuentes de alimentación. Se aplica por lo general en zonas con tasas de crecimiento bajas y densidad de carga en el rango de 5-15 MVA/Km2 , como por ejemplo, los fraccionamientos o conjuntos habitacionales; la operación debe ser en forma de anillo abierto, es decir, el circuito no se debe cerrar durante la operación normal. [8]

La necesidad de líneas subterráneas en un área en particular es dictaminada por las condiciones locales. La elección del tipo de sistema depende sobre todo de la clase de servicio que se ofrecerá a los consumidores en relación al costo. Los sistemas de distribución radiales subterráneos se usan en zonas urbanas de densidad de carga media y alta donde circulen líneas eléctricas con un importante número de circuitos dando así una mayor confiabilidad que si se cablearan de manera abierta.

Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los aéreos, pero cuando se produce una falla es más difícil localizarla y su reparación lleva más tiempo. Por esta razón, para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación, en el caso de los sistemas radiales subterráneos se colocan seccionadores para permitir pasar la carga de un alimentador primario a otro.

Se instalan seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios, para que en caso de falla o de desconexión de un transformador, se puedan conectar sus circuitos secundarios a un transformador contiguo. Existe la tendencia a realizar la distribución eléctrica de zonas residenciales suburbanas mediante instalaciones subterráneas. Generalmente los alimentadores primarios consisten en cables subterráneos dispuestos formando un anillo, que funciona normalmente abierto, conectados a un alimentador. [12]

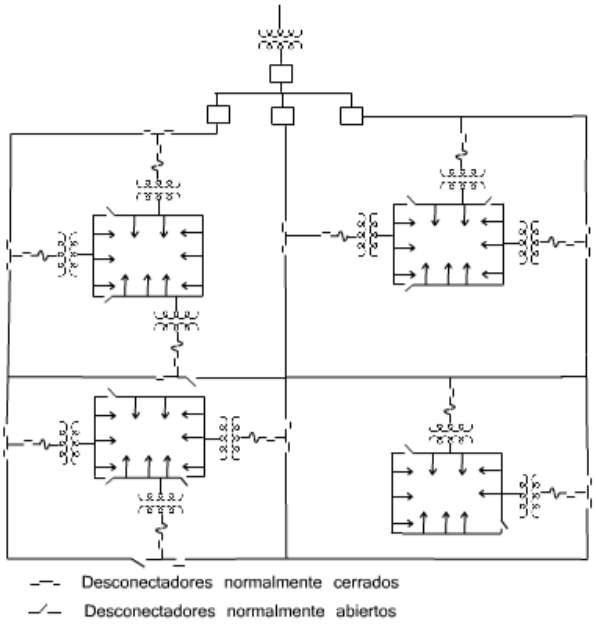


Fig. 2.1.6 *Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial*

2.5.7. Sistemas primarios.

La parte del sistema de distribución que está entre la subestación de distribución y los transformadores de distribución, se conoce como el sistema primario o alimentadores de

distribución primarios. Un alimentador se secciona usando elementos de recierre en varios puntos, de manera que cuando ocurran fallas se minimice su efecto, también se observa el uso de fusibles como dispositivos de protección.

El sistema de distribución, se puede decir que aun cuando en un diagrama unifilar aparece en forma muy simplificada, un sistema de distribución consiste de una variedad mucho más amplia de niveles de tensión, componentes, cargas e interconexiones, mayor que los de los sistemas de generación o transmisión. Los niveles de voltaje para el alimentador primario representan el factor más importante que afecta el diseño del sistema, su costo y la operación.

Algunos de los aspectos de diseño y operación que son afectados por el nivel de voltaje del alimentador primario son:

a) La longitud del alimentador primario.
b) La carga en el alimentador primario.
c) El número de subestaciones de distribución.
d) La capacidad de las subestaciones de distribución.
e) El número de líneas de sub-transmisión.
f) El número de clientes afectados por una interrupción especifica.
g) Las prácticas de mantenimiento del sistema.
h) El tipo y uso de postes para la distribución aérea.
i) La apariencia de los postes de la línea.

Por lo general, los alimentadores primarios localizados en áreas de baja densidad de carga, están restringidos en longitud y carga, por la caída de voltaje permisible más que por restricciones térmicas, en tanto que los alimentadores primarios localizados en áreas de alta densidad de carga, por ejemplo en zonas de tipo industrial y comercial, pueden estar limitados por restricciones térmicas. En general, para una caída de voltaje dada, la longitud del alimentador y su carga, son función del nivel de voltaje del alimentador. [9]

En la figura ***2.6*** se expone el diagrama unifilar de un sistema típico de distribución, donde se muestra la subestación de distribución, el alimentador primario con los elementos de seccionalizacion y protección, también los ramales secundarios; el primario es por lo general trifásico a 4 hilos, en tanto que los ramales pueden ser monofásicos o trifásicos tomados como derivación del principal. [9]

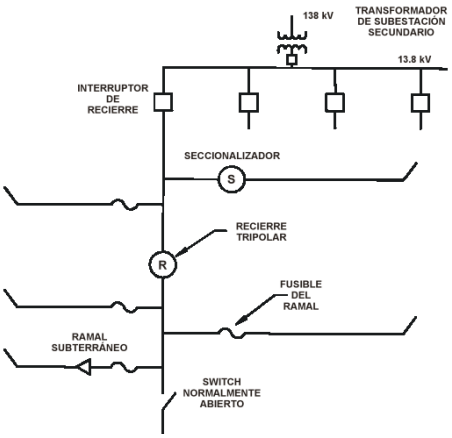


Fig. 2.1.7 *Alimentación del primario de distribución*

2.5.8. Estructura con primario con doble alimentación.

Este tipo de estructura topológica se lleva a cabo en zonas con grandes cargas concentradas, por ejemplo, cargas de tipo turístico, cargas industriales, o bien grandes centros comerciales cuya característica de expansión o crecimiento sea alargada. Un ejemplo de este tipo de cargas, pueden ser las zonas hoteleras, y se aplica por lo general en donde la continuidad del servicio sea importante. Su rango de aplicación es amplio, pues va desde los 5 KVA/Km2 hasta 30 KVA/Km2.

La operación se hace a base de un esquema de alimentación preferente y emergente, con transferencias manuales y automáticas. Cuando sale un alimentador, los servicios llamados preferentes se pasan a otro alimentador que actúa como emergente, esta transferencia de carga o alimentadores, se puede hacer en forma automática y sólo toma unos cuantos ciclos. [9]

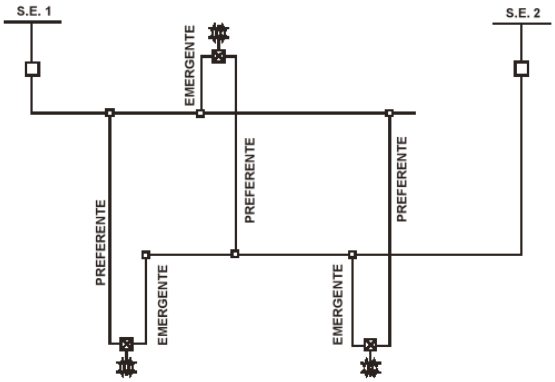


Fig. 2.1.8 *Doble alimentación del primario de distribución*

2.5.9. Estructura con alimentadores selectivos.

Cuando existen zonas de crecimiento en la demanda rápido y densidades de carga mayores de 15 MVA/Km2, alimentando conjuntos habitacionales o zonas de edificios altos con grandes concentraciones de carga, este tipo de estructuras es recomendable. Está constituida por cables troncales de la misma sección, que salen normalmente de subestaciones primarias distintas.

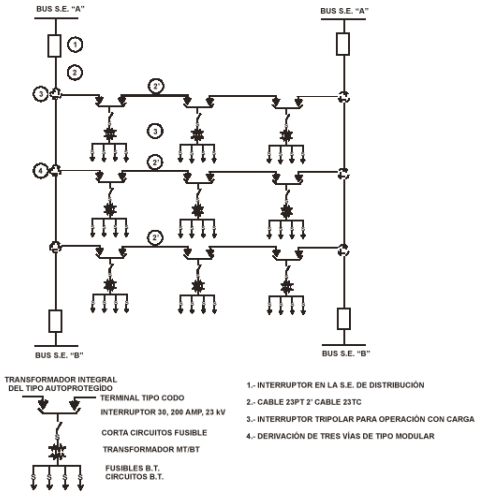


Fig. 2.1.9 *Estructura con alimentadores selectivos*

De cada troncal se derivan los ramales o subramales que las interconectan, de acuerdo a un esquema con alimentación doble, y energizan a transformadores localizados en los puntos de carga, tienen la ventaja de que cuando ocurre una falla en una troncal o ramales, los dispositivos de seccionamiento que están instalados en los mismos transformadores permiten efectuar las transferencias de carga necesarias, de manera que se pueda transferir al alimentador troncal adyacente. [9]

2.5.10. Líneas de enlace.

Una línea de enlace es aquella que conecta dos fuentes de suministro o alimentación para proporcionar un servicio de emergencia entre dos sistemas. Generalmente una línea de enlace proporciona servicio para las cargas del área a través de su ruta, así como servicio emergente a las áreas adyacentes de la subestación, de modo que estas líneas de enlace, cumplen con dos funciones, la primera es:

Proporcionar servicio de emergencia para el alimentador adyacente para reducir el tiempo de salida de los clientes durante las condiciones de emergencia. Y la segunda función es para proporcionar un servicio de emergencia para las subestaciones adyacentes del sistema, eliminando con esto la necesidad de tener un respaldo de emergencia en cada subestación. [9]

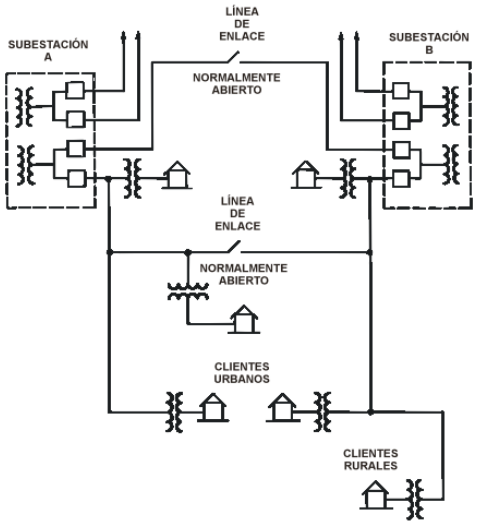


Fig. 2.1.10 *Diagrama unifilar de dos subestaciones con líneas de enlace*

2.6. Elementos de cálculo de las redes de distribución.

El cálculo eléctrico de las redes de distribución, es la fase del proyecto que sigue a la selección del arreglo de la red y de las condiciones de operación (criterios de reserva en condiciones de emergencia, etc.), se refiere tradicionalmente al dimensionamiento eléctrico de las componentes y comprende la selección de las secciones de los conductores y de las especificaciones de los equipos.

Para esto es necesario lo siguiente:

- La determinación de los flujos de potencia y de las corrientes en condiciones normales y de sobrecarga.
- El cálculo de la caída de tensión y de las pérdidas de energía.

- El cálculo de la corriente de cortocircuito.

Los fundamentos para el cálculo de las redes de distribución parten de los conceptos para la planeación de redes de distribución, de las curvas de demanda para los distintos tipos de cargas y los factores para el establecimiento de los valores de las cargas. Para el cálculo eléctrico de las redes de distribución, es importante identificar las características de la carga, ya sea por el tipo de cliente o usuario, por su variación estacional o por su comportamiento.

Tipo de usuarios:

- Residenciales.
- Comerciales.
- Industriales.
- De servicio público.

La distribución de la carga estacional se da principalmente en aquellos lugares en que las condiciones climatológicas tienen cambios importantes, y entonces se puede tener, por ejemplo en el verano, altas temperaturas que requieran del uso casi continuo del aire acondicionado, mientras que en el invierno no, esto plantea consumos distintos simplemente por aspectos estacionales, que se deben considerar en el proyecto de las redes de distribución. [9]

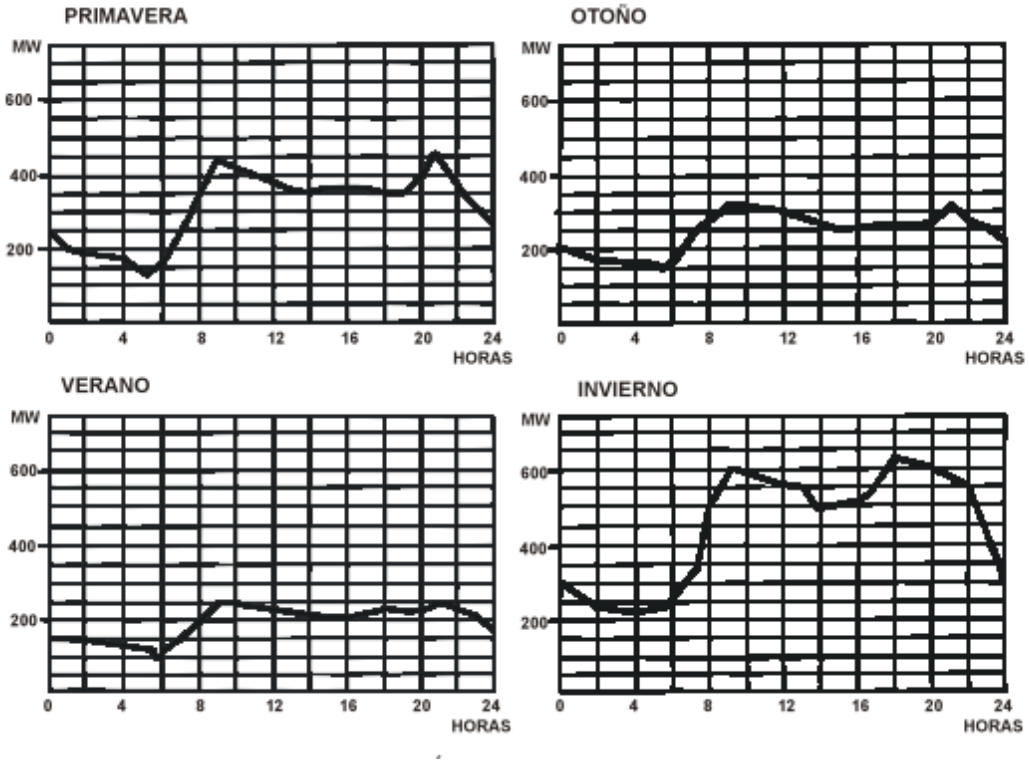


Fig. 2.1.11 *ejemplo de variación estacional de la carga*

Potencia eléctrica: Representa la razón a la cual el trabajo se efectúa en un circuito eléctrico. La unidad por lo regular se usa es el watt o kilowatt. El término "razón a la cual el trabajo se efectúa" introduce un elemento de tiempo en la definición de potencia

eléctrica, de tal manera de que un kilowatt para un periodo definido representa una razón específica a la cual el trabajo se puede efectuar.

El kilowatt-hora representa la potencia eléctrica de un kilowatt actuando en un intervalo de una hora: así pues, este representa una medida del trabajo total que realiza un circuito eléctrico, la razón a la que el circuito está haciendo el trabajo será sesenta veces mayor. En consecuencia, una potencia eléctrica define la razón a la cual se requiere que el sistema de alimentación efectué el trabajo. [12]

Demanda: Se refiere al uso instantáneo de la potencia eléctrica que es demandada por una carga y se define en forma empírica por la potencia activa, reactiva y aparente, o bien una combinación de estas cantidades. Dependiendo del tamaño de las cargas, la potencia activa se puede expresar en KW o MW, o bien en KVA o MVA. La cantidad de potencia consumida por una carga durante un lapso de tiempo específico, se expresa habitualmente en KW-h o MW-h y se conoce como la energía eléctrica.

La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras tomada en un valor medio en determinado intervalo. En esta definición se entiende por la carga la que se mide en términos de potencia (aparente, activa, reactiva o compleja) o de intensidad de corriente. El periodo durante el cual se toma el valor medio se denomina intervalo de demanda y es establecido por la aplicación específica que se considere, la cual se puede saber por la constante térmica de los aparatos.

La caga puede ser instantánea, como cargas de soldadoras o corrientes de arranque de motores. Sin embargo, los aparatos pueden tener una constante térmica en un tiempo determinado, de tal manera que los intervalos de demanda pueden ser de 15, 30, 60 o más minutos, dependiendo del equipo de que se trate. E puede afirmar entonces que al definir una demanda es requisito indispensable indicar el intervalo de demanda, ya que sin esto el valor que se establezca no tendrá ningún sentido práctico.

Los términos en kilowatt y kilowatt-hora se confunden. Es conveniente recordar nuevamente que un kilowatt representa la razón a la cual el trabajo se puede efectuar, mientras que un kilowatt-hora representa la cantidad de energía o de trabajo que se efectúa en un intervalo de tiempo. La demanda promedio en cualquier periodo es igual al número de kilowatt-hora consumidos, divididos entre en número de horas en el periodo. [12]

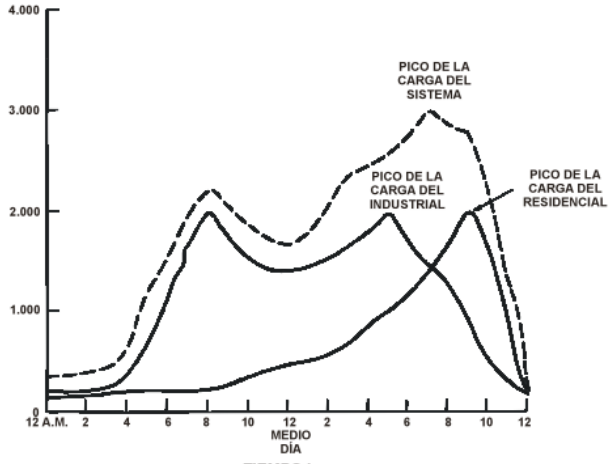


Fig. 2.1.12 *ejemplo de demanda máxima en un día*

Demanda máxima: Las cargas eléctricas por lo general se miden en amperes, kilowatt o kilovolt-ampere. Para que un sistema eléctrico o parte de este se construya eficientemente debe de saber la demanda máxima del mismo. En general, las cargas eléctricas rara vez son constantes durante un tiempo apreciable, o sea que fluctúan de manera continua. El valor de la demanda máxima anual es el valor que con más frecuencia se usa para la planeación de la expresión del sistema.

El término demanda a menudo se usa en el sentido de máxima demanda para el periodo que se especifique. Por supuesto, se necesita la determinación exacta de la máxima demanda de una carga individual cuando en la facturación del cliente se incluye el valor que tome la demanda máxima. El conocimiento de la demanda máxima de un grupo de cargas y su efecto combinado en el sistema eléctrico es también de gran importancia, dado que la demanda máxima del grupo determinara la capacidad que requiere el sistema.

De igual modo, la demanda máxima combinada de un grupo pequeño de consumidores determinara la capacidad del transformador que se requiere, así, las cargas que alimentan a un grupo de transformadores dan por resultado una demanda máxima, la cual determinara el calibre del conductor y la capacidad del interruptor o del regulador que formen parte del alimentador primario.

La demanda máxima combinada de un grupo de alimentadores primarios determinara la capacidad de la subestación hasta llegar a determinar consecuentemente la capacidad de generación necesaria para todo el sistema, en todos los casos la determinación de la demanda máxima es de vital importancia, y si no se pueden obtener medidas precisas de la demanda es necesario estimar su valor de la mejor manera posible para poder usar estos datos correctamente en el proceso de planeación del sistema. [12]

Carga instalada: La carga conectada es la suma de los valores nominales de todas las cargas del consumidor que tiene probabilidad de estar en servicio al mismo tiempo para producir una demanda máxima. La carga conectada se puede referir tanto a una parte como el total del sistema y se puede expresar en watts, kilowatts, amperes, HP, kilovolt-amperes, etc., dependiendo de las necesidades o requerimientos del estudio. [12]

$$\mathrm{Ci} = \sum KW$$

Densidad de carga.: Es el cociente entre la carga instalada y el área de la zona del proyecto que se trate. Se expresa por lo general en KVA/Km^2 o KW/ Km^2. El pico de la carga puede ser el máximo instantáneo o el máximo promedio en un intervalo (demanda máxima). En esta definición el pico de carga por lo regular se entiende como la mayor de todas las cargas promedio en un intervalo especifico. [12]

$$Dc = \frac{Ci(KVA)}{Area\ (km^2)}$$

Factor de demanda: El factor de demanda en un intervalo de tiempo (t) de una carga, es el cociente entre la demanda máxima y la carga total instalada. El factor de demanda

generalmente es menor que uno. Obviamente el factor de demanda es un numero adimensional, por lo tanto, la demanda máxima y la carga instalada se deberán considerar en las mismas unidades. [12]

$$Fd = \frac{Dmax(t)}{Ci}$$

Factor de utilización: El factor de utilización de un sistema eléctrico en un intervalo de tiempo (t) es el cociente entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema. El factor de demanda, expresa el porcentaje de carga instalada que se está alimentando, el factor de utilización indica la fracción de la capacidad del sistema que se está utilizando durante el pico de la carga en el intervalo de tiempo considerado. [12]

$$Fu = \frac{Dm(t)}{Capacidad\ instalada}$$

Factor de carga: Se define el factor de carga como la relación que existe entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo. El promedio de las cargas máximas instantáneas se deben de estresar en las mismas unidades para que el factor de carga sea adimensional. El pico de carga puede ser el máximo instantáneo o el máximo promedio en un intervalo.

$$.Fc = \frac{Dm}{Dmax}$$

La definición del factos de carga debe ser especifico en el establecimiento del intervalo de la demanda, así como el periodo en el que la demanda máxima y la carga promedio se apliquen. Para una carga, excepto una en que el ciclo de carga está compuesto de ciclos idénticos, un periodo mayor dará un factor de carga más pequeño.

El factor de carga anual influido por las estaciones del año será considerablemente menor que el de un factor de carga diario o semanal. Asimismo, el factor de carga semanal será menor que el factor de carga diario. Por lo tanto, es importante observar que cuando se quieran comparar diversos factores de carga característicos esto se debe o puede hacer siempre y cuando los intervalos sean idénticos.

El factor de carga indica básicamente el grado en el que el pico de carga se sostiene durante el periodo. Ciclos de carga de varias formas y diferentes picos de carga pueden tener actores de cargas iguales. El único requisito que se requiere para tener factores de carga iguales es la relación con los respectivos promedios a los picos de carga que sean iguales. [12]

Factor de diversidad: Cuando se diseña un alimentador para un consumidor, se debe tomar siempre en cuenta la demanda máxima, debido a que ésta impondrá al cable condiciones más severas de carga y de caída de tensión; sin embargo, cuando se alimenta más de un consumidor por un mismo alimentador, se debe tomar en consideración el concepto de diversidad de cargas, ya que sus demandas no coinciden en el tiempo.

Esta diversidad entre las demandas máximas de un mismo grupo, se establece por medio del factor de diversidad, que se define como el cociente entre la sumatoria de las demandas máximas individuales y la demanda máxima del conjunto. En la ejecución de un proyecto no interesara el valor de cada demanda individual sino las de todas pero en conjunto.

El factor de diversidad se expresa de la siguiente manera:

$$\mathrm{Fd} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Dm}{Dmax}$$

Este factor se puede aplicar a distintos niveles del sistema, es decir, entre consumidores conectados a un mismo alimentador, o bien entre transformadores de un mismo alimentador o entre alimentadores provenientes de una misma fuente o subestación de distribución, o en todo caso, entre subestaciones eléctricas de un mismo sistema de distribución, por lo que resulta importante establecer el nivel en el que se quiere calcular o aplicar el factor de distribución (Fd). [12]

Factor de coincidencia: Se define este factor como el reciproco del factor de distribución.

$$Fco = \frac{1}{Fd}$$

EQUIPO/SISTEMA	F_d	F_{CO}
Entre transformadores	1.2 - 1.35	0.74 - 0.83.3
Entre alimentadores primarios	1.08 - 1.2	0.83 - 3.92.5
Entre S.E. de distribución	1.05 - 1.25	0.80 - 0.95.5

Fig. 2.1.13 *Algunos factores de diversidad y coincidencia usados en la planeación de sistemas de distribución*

TIPO DE SERVICIO	KVA/HABITACIÓN
Departamento de interés social	0.3 - 0.6
Departamento medio	0.6 - 1.5
Residencial de lujo (sin aire acondicionado)	1.5 - 2.5
Residencial de lujo (con aire acondicionado)	4.0 - 5.0

Fig. 2.1.14 *Valores de demanda máxima diversificada promedio en servicios en zonas urbanas*

Factor de pérdidas: Existe una relación entre el factor de carga de un sistema y las pérdidas en el alimentador, o bien la red asociada. Estas pérdidas son más difíciles de calcular, debido a que son la suma de las pérdidas RI obtenidas con la corriente pico, pero debido a que esta corriente o valor de corriente varía con el tiempo, se pueden obtener multiplicando las pérdidas en el pico por un factor conocido como "**Factor de Pérdida".** [9]

Distribución y densidad de carga: Como ocurre comúnmente en un sistema de distribución, un consumidor individual se puede considerar como una carga concentrada en relación con ese sistema, o sea que se conecta al sistema en un punto y hasta ese punto la conexión del servicio actúa como una carga unificada sin que interese como este subdividida dentro del servicio.

Un grupo de cargas individuales, como un bloque o conjunto de residencias, puede producir una carga compuesta esparcida a lo largo de la línea, la cual para el propósito de diseño se puede considerar de manera conveniente como una carga más o menos uniformemente distribuida. Los servicios se pueden conectar en grupos y unos cuantos por postes.

La mayoría de los casos el error que se introduce es despreciable aunque hay ciertos problemas en que es preferible considerar las cargas concentradas en un punto. Es posible tomar como carga distribuida a la carga conectada en el secundario, para cargas de transformadores conectados a lo largo de alimentadores primarios y también para cargas totales distribuidas a lo largo de áreas mayores, como un área servida por una subestación.

La mayoría de los problemas en que intervienen cargas distribuidas se simplifican por la conversión de estos en sus valores equivalentes de la carga concentrada. Las pérdidas de potencia en una línea que tiene cargas uniformemente distribuidas desde la alimentación hasta el final del circuito equivalen a las pérdidas que se pudieran producir por una carga total concentrada en la tercera parte de la distancia. [12]

$$Factor\ de\ perdidas = \frac{perdidas\ o\ potencia\ promedio\ en\ un\ tiempo}{Fdmaximas\ perdidas\ en\ el\ mismo\ tiempo}$$

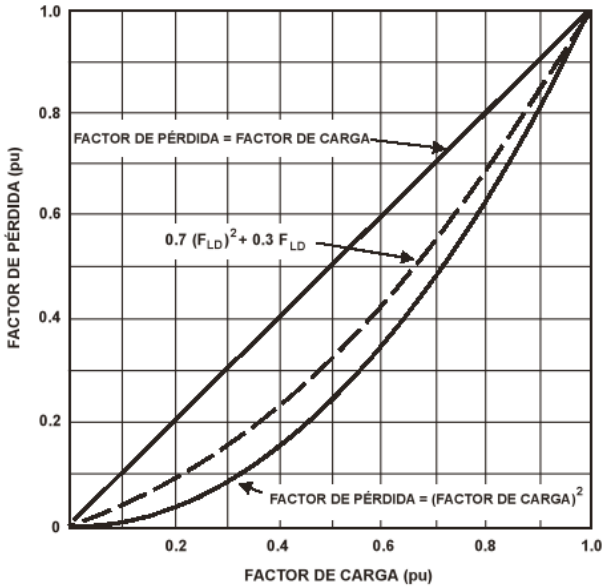


Fig. 2.1.15 *Relación entre el factor de pérdidas y el factor de cargas*

2.7. Subestación eléctrica.

Una subestación eléctrica es una instalación, o conjunto de dispositivos eléctricos, que forma parte de un sistema eléctrico de potencia. Su principal función es la producción, conversión, transformación, regulación, repartición y distribución de la energía eléctrica**.** La subestación debe modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para que la energía eléctrica pueda ser transportada y distribuida. El transformador es el equipo principal de una subestación. [13]

2.7.1. Tensiones del sistema eléctrico nacional (reportado por la CFE).

- Para transmisión: 161, 230 y 400 kV.
- Para sub-transmisión: 69, 85, 115 y 138 kV.
- La red de distribución está integrada por las líneas de sub-transmisión con los niveles mencionados anteriormente de 69, 85, 115 y 138 kV; así como las de distribución en niveles de 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 kV y baja tensión.
- Para distribución en plantas industriales: 34.5 kV, 23 kV, 13.8 kV, 4.16 kV, 440 V, 220/127 V. [14]

2.7.2. Tipos de subestaciones eléctricas.

- **Subestaciones eléctricas elevadoras:** Están ubicadas en las proximidades de las centrales generadoras de energía eléctrica, poseen uno o varios transformadores y su función es elevar el nivel de tensión, hasta 132, 220 o incluso 400 kV, antes de enviar la energía a la red de transporte. [15]
- **Subestaciones eléctricas reductoras:** Disminuyen el nivel de tensión hasta valores entre 13,2, 15, 20, 45 ó 66 kV y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente, los centros de transformación vuelven a reducir los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) que son los compatibles con el consumo doméstico e industrial, normalmente 400 V. [15]

2.7.3. Elementos principales de una subestación.

- Transformador
- Interruptor de potencia
- Restaurador
- Cuchillas fusible
- Cuchillas desconectadoras y cuchillas de prueba.
- Apartarrayos.
- Transformadores de instrumento.
- Barras, buses o cajas derivadores.

2.8. Conductores en media tensión.

Se puede definir como conductor eléctrico aquel componente de un sistema, capaz de permitir el paso continuo de una corriente eléctrica cuando es sometido a una diferencia de potencial entre dos puntos. Un conductor eléctrico es un elemento de un sistema constituido de un material de alta conductividad eléctrica que puede ser utilizado para el transporte de energía eléctrica. [16]

En general y para nuestros fines, un conductor eléctrico consta de un filamento o alambre, de una serie de alambres cableados y/o torcidos, de material conductor, que se utiliza

desnudo, o bien cubierto con material aislante. En aplicaciones donde se requieren grandes tensiones mecánicas se utilizan bronce, acero y aleaciones especiales.

Un cable de potencia es un dispositivo eléctrico utilizado para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro a una corriente y tensión determinadas. Por lo tanto, un cable aislado tiene como finalidad transportar energía, además de lograr que las pérdidas eléctricas que existan por causa de la transferencia de energía de un lugar a otro sean las mínimas posibles, esto es justamente lo que le da funcionalidad a una instalación.

Cuando un conductor eléctrico aislado se conecta a una fuente de energía eléctrica, se ordena, orienta y acelera el movimiento de los electrones como causa del efecto del campo eléctrico. Los cables de potencia se clasifican de varias formas, y en este caso es útil clasificarlos por la tensión a la que operan, en éste caso específico, al tratar el tema de cables para media tensión, se está hablando de un rango de 1.1 *[kV]* hasta 35 *[kV]*. Los valores de diseño para la fabricación de cables de potencia son de 5, 8, 15, 25 y 35 *KV*.

Los conductores neutros deben tener la misma separación y altura que los de fase en su respectivo circuito, excepto los que están conectados sólidamente a tierra a lo largo de la línea, que pueden considerarse conductores de 0kV – 1kV. El mapa de isodensidades es una referencia importante, pero debe de complementarse con las experiencias propias de las áreas, como número de salidas de líneas y aislamientos dañados por descarga atmosférica.

Las líneas aéreas de media tensión deben de tener resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas propias y debidas a las condiciones meteorológicas a que están sometidas, según el lugar en que se ubiquen, con los factores de sobrecarga adecuados. En cada caso deben investigarse y aplicarse las condiciones meteorológicas que prevalezcan en el área en que se localicen.

En aquellas regiones del país donde las líneas aéreas lleguen a estar sometidas a cargas mecánicas más severas que las calculadas sobre las bases señaladas, ya sea por hielo, menor temperatura o mayor velocidad del viento, las instalaciones deben proyectarse tomando en cuenta tales condiciones de carga, conservando los factores de sobrecarga correspondientes.

Para depósitos controlados, el área del agua y la altura de los conductores deben basarse en el as alto nivel de agua de diseño. Para otros depósitos de agua, el área a considerar debe ser la que marque el más alto nivel del agua, y la altura debe basarse en el área más grande que resulte de considerar la longitud de 1600m de rio o canal, en donde ya se incluya en cruce. [16]

NIVELES DE ENERGIA	RANGO	VALORES DE DISEÑO
BAJA TENSION	300V - 1.0KV	440V
MEDIA TENSION	**1.1. KV - 35KV**	**5, 8, 15, 25 Y 35 KV**
ALTA TENSION	69KV – 161KV	69, 115, 138, 161 Y 170 KV
EXTRA ALTA TENSION	230KV – 500KV	230, 345, 400 Y 500 KV

Tabla. 2.1 *Valores comerciales de tensión.*

2.8.1. Componentes de un conductor eléctrico.

Cobre: Elemento químico monovalente, su símbolo químico es Cu. Es un metal sumamente dúctil y maleable de un color rojizo pardo brillante, uno de los mejores conductores de calor y la electricidad. Existe abundantemente en la naturaleza, tanto en el estado nativo, como en la forma de diversos minerales constituidos por óxidos y sulfuros.

Es un metal muy maleable y dúctil de color rojizo, se puede vaciar, forjar, laminar, estirar y maquinar. El trabajado en frío lo endurece pero el recocido lo lleva de nuevo a su estado suave. La densidad varía ligeramente con el estado físico (89 es su valor promedio). Se funde a 1083 ºC y en este estado tiene un color verde marino. Entra en aleación fácilmente con muchos otros metales y su conductividad eléctrica es muy sensible a la presencia de ligeras impurezas en el metal.

El cobre se oxida pero la capa de oxidación es protectora, el proceso de oxidación no es progresivo. El cobre en presencia del aire no se disuelve en ácido hidroclorico o ácido sulfúrico diluido pero es fácilmente atacado por el ácido nítrico diluído, es también corroído lentamente por soluciones salinas y el agua de mar. Hay dos métodos bien conocidos para endurecer el cobre: uno es por tratamiento mecánico y el otro es por adición de un elemento aleante. [16]

Es muy común indicar la conductividad de un conductor en términos de su razón porcentual con respecto a la conductividad del metal químicamente puro de que esta hecho el conductor o bien en términos de su razón porcentual con respecto a la conductividad del cobre estándar internacional. El porcentaje de conductividad se puede expresar en dos formas diferentes: una de ellas, cuando las secciones transversales de los conductores son iguales, se llama razón de conductividad volumétrica y la otra, cuando las masas de los conductores son iguales, se llama razón de conductividad másica. [17]

Metalurgia del cobre: En el beneficio del cobre se siguen dos procedimientos de acuerdo a su composición mineral. Los que contienen cobre nativo o en forma de sulfuros se someten al proceso de la fundición. Los óxidos se disuelven mediante reactivos adecuados, para recuperar después el cobre por precipitación y refinación. El mineral de cobre se funde dos veces, la primera tiene por objeto obtener la mata de cobre, o sea, una mezcla de sulfuros de cobre y hierro, esta operación se realiza en hornos de reverbero.

La segunda tiene por objeto afinar la mata separando el cobre del azufre y el hierro, esto se consigue fundiéndola en un horno convertidor en presencia de una corriente de aire constante. El azufre se escapa en forma de SO2, y el hierro se convierte en oxido que se elimina en la escoria. El producto se conoce como cobre negro (Blíster). Finalmente, el cobre negro (Blíster), se somete a la refinación electrolítica que se efectúa haciendo pasar una corriente eléctrica por una solución acidulada (Sulfato de Cobre CuSO4).

Aluminio: Es un metal dúctil, de color blanco plata que se puede fácilmente laminar, enrollar, extruir y forjar. Su densidad relativa es 2.703. El aluminio se funde a 660 ºC. El aluminio tiene conductividad térmica y eléctrica relativamente altas. El metal está siempre cubierto con una película delgada de óxido que es impermeable y protectora. Por

esto, el aluminio muestra estabilidad y larga vida bajo exposiciones atmosféricas ordinarias.

La exposición a atmósferas con alto contenido de sulfuro de hidrógeno o bióxido de azufre no causa ataques severos al aluminio a temperaturas ordinarias y por esta razón, el aluminio o sus aleaciones se pueden usar en atmósferas que serían rápidamente corrosivas a muchos otros metales. Las partes de aluminio no deben, en general, exponerse a soluciones salinas mientras estén en contacto con partes de cobre, bronce, níquel, estaño o acero.

El contacto con el cadmio en tales soluciones no acelera en forma apreciable el ataque al aluminio, mientras que el contacto con el zinc es en general benéfico ya que el zinc es atacado selectivamente y protege en forma catódica las superficies adyacentes del aluminio. La mayor parte de los ácidos orgánicos, y sus soluciones acuosas tiene poco o ningún efecto en el aluminio a temperatura ambiente, aunque el ácido oxálico, que es corrosivo es una excepción.

Metalurgia del aluminio: El beneficio del aluminio se logra por medios electrolíticos, mezclando la bauxita purificada (oxido de aluminio), con criolita fundida (floruro doble de aluminio y sodio), a una temperatura de 980º C en un crisol de carbón que sirve como electrodo negativo. El electrodo positivo está formado por carbón.

Entre ambos se hace pasar una corriente eléctrica continua depositándose el aluminio fundido en el fondo del crisol, de donde es sangrado hacia las lingoteras, y/o al proceso de colada continua para obtener rollos de alambrón de aluminio. El ácido nítrico concentrado (aprox 80% por peso) el ácido sulfúrico humeante se puede manipular en recipientes de aluminio.

Las soluciones más diluidas (menos del 0.1 %) de los ácidos hidroclórico e hidrofluórico tienen una acción rápida corrosiva sobre el aluminio así como los álcalis fuertes de potasio y los hidróxidos de sodio. El hidróxido de amoniaco y muchas bases orgánicas tienen poco efecto sobre el aluminio. El aluminio en presencia del agua y escaso aire sin oxígeno se convierte rápidamente en hidróxido de aluminio (que es un polvo blanco).

La aleación de aluminio 1350 que tiene una pureza de aproximadamente del 99.5% y una conductividad mínima del 61% IACS se usa para conductores. El aluminio trabajado en frío se suaviza con el recocido, con disminución de su resistencia a la tensión e incremento de su ductibilidad. El aluminio se puede alear con distintos elementos con un consecuente incremento en resistencia y dureza. Se puede alear con el cobre, silicio, magnesio, manganeso, cromo y zinc.

El aluminio puro es un metal relativamente débil. El aumento de su resistencia se consigue con aleantes. Las aleaciones más adecuadas para laminación en frío rara vez contienen menos del 90 al 95 % de aluminio. Por medio de aleantes, de trabajado y de tratamiento térmico, es posible obtener resistencias a la tensión que varían desde 8500 lb/in2 para aluminio puro recocido hasta 8200 lb/in2 para aleaciones iniciales atadas térmicamente, con densidades de 2.65 a 3.00.

Plomo: Su símbolo químico es Pb. Es un metal blando y maleable, muy denso, de color gris opaco, y se funde a 327.4º C. El plomo existe en estado nativo pero es muy raro y se

obtiene principalmente en la galena (sulfuro de Plomo). Este metal forma un revestimiento protector del óxido que lo hace tolerante a la acción de determinados ácidos. No presenta alteraciones frente al ácido sulfúrico y clorhídrico, sin embargo se disuelve en ácido nítrico.

Metalurgia de plomo: Se principia por tostar la galena a fin de eliminar una parte de azufre. En el caso de concentrados se procede a fundirlos sin ninguna preparación, esto suele efectuarse en un alto horno. La carga consiste en una mezcla de galena, coque y algún fundente ferruginoso. De la parte inferior del horno se extrae el plomo fundido, refinándose después. El plomo puede alcanzar purezas hasta de un 99.90 por ciento.

Acero: Es un metal derivado del hierro y está compuesto principalmente de hierro, carbono y manganeso.El mineral de hierro se combina con coque y caliza, donde se transforman dentro de un horno en metal derretido mediante aire caliente. El metal fundido se deposita en el fondo, es sangrado y transportado a los hornos convertidores y por medio del aire caliente se le queman las impurezas y se le añaden carbono y manganeso. [16]

	COBRE Temple Suave	ALUMINIO 1 350-H 19	PLOMO	ACERO
Número Atómico.	29	13	82	—
Peso Específico, gr/cm³	8.89	2.705	11.3	7.8
Coeficiente de Temperatura por °C a 20°C.	0.003 93	0.004 03	0.003 9	0.005 6
Conductividad Eléctrica (I.A.C.S.)*, %	100	61	—	—
Conductividad Térmica. cal/cm³	0.93	0.52	0.083	0.11
Temperatura de Fusión, °C	1 083	660	327	1 300 -1 475
Coeficiente de Dilatación Lineal por °C.	16.22×10^{-6}	23.0×10^{-6}	28.0×10^{-6}	11.5×10^{-6}
Calor Específico, cal/gr/°C.	0.091 8	0.225 9	0.031	0.107
Resistividad Volumétrica a 20°C. ohm-mm²/m	0.017 241	0.028 265	—	—
Resistividad Eléctrica (ohm, en 304.8m a 20°C)	10.371	17.0	132.31	72.17
Esfuerzo de Tensión, Temple duro, kg/cm²	3 870	1 820	—	—
Esfuerzo de Tensión, Temple suave, kg/cm²	2 250	845	—	—
Módulo de Elasticidad, kg/cm²	1 200 000	702 000	—	2 030 000
Resistencia al Corte, kg/cm²	1 750	665	—	—
Resistencia Límite de Fluencia, kg/cm²	560	350	—	—

Fig. 2.3.1 *Propiedades físicas de los metales a 20º C*

2.8.2. Aislante eléctrico.

Es un material con escasa capacidad de conducción de la electricidad, utilizado para separar conductores eléctricos evitando un cortocircuito y para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos que de tocarse accidentalmente cuando se encuentran en tensión pueden producir una descarga. El comportamiento de los aislantes se debe a la barrera de potencial que se establece entre las bandas de valencia y conducción que dificulta la existencia de electrones libres capaces de conducir la electricidad a través del material. Para más detalles ver semiconductor. [18]

Los materiales empleados como "aislantes" siempre conducen algo la electricidad, pero presentan una resistencia al paso de corriente eléctrica hasta 2,5 × 1024 veces mayor que la de los buenos conductores eléctricos como la plata o el cobre. Un buen aislante apenas posee electrones permitiendo así el flujo continuo y rápido de las cargas. En los circuitos eléctricos normales suelen usarse plásticos como revestimiento aislante para los cables. [18]

El aislamiento interno de los equipos eléctricos puede efectuarse con mica o mediante fibras de vidrio con un aglutinador plástico. En los equipos electrónicos y transformadores se emplea en ocasiones un papel especial para aplicaciones eléctricas. Las líneas de alta tensión se aíslan con vidrio, porcelana u otro material cerámico. Los cables muy finos, como los empleados en las bobinas (por ejemplo, en un transformador), pueden aislarse con una capa delgada de barniz. [18]

2.8.3. Materiales aislantes para conductores eléctricos.

Hule natural: En épocas pasadas, este material tuvo una época en que no tenía competencia par a la fabricación de aislamientos y cubiertas de cables eléctricos; sin embargo, actualmente se emplea una cantidad muy pequeña para este propósito. Necesita formularse especialmente para lograr compuestos resistentes a la humedad, al calor, a los aceites y de resistencia mecánica alta. Actualmente no puede competir con los hules sintéticos (elastómeros), que se han desarrollado. [16]

Hule SBR o GRS: Se le conoce como hule estireno-butadieno, hule BUNA-S, hule SBR o GRS. Aunque su resistencia mecánica es inferior al hule natural, puede formularse para lograr un compuesto de buenas cualidades eléctricas para cables de baja tensión, es más resistente al calor y humedad que el hule natural. Aún se emplea como aislamiento para tensiones hasta de 2 000 volts. [16]

Hule Butilo: Este material es un polímero del isobutileno-isopreno. Aunque este material fue desarrollado en 1940, tomó algunos años vencer algunos problemas técnicos de proceso para poder emplearlo como aislamiento de conductores eléctricos. Sin embargo, en 1947 se empezó a lograr una enorme producción de cables con este aislamiento para tensiones hasta de 35 000 volts.

Una vez que las dificultades de formulación y preparación de compuestos de hule butilo fueron vencidas, se logró tener un excelente aislamiento para alta tensión. Este aislamiento puede trabajar a temperaturas de operación continua hasta de 90°C. Es inherentemente resistente al ozono y a la humedad. Muy resistente al calor, de buena resistividad y rigidez dieléctrica, de buenas propiedades mecánicas y excelente resistencia a la deformación térmica. [16]

Policloropreno (neopreno): Alrededor de los años treinta se desarrolló para la industria de cables un nuevo material que parecía ser muy especial para aquella época. Con el paso del tiempo se convirtió en un caballito de batalla para aplicaciones como cubiertas de cables. Este material es el neopreno, y aunque tiene actualmente algunas limitaciones, aún se usa extensamente.

El neopreno, químicamente, es un polímero del cloropreno, que solo tiene aplicación como aislamiento eléctrico en conductores de baja tensión, 600 volts, ya que su contenido de cloro hace sus cualidades aislantes no sean muy elevadas. Pueden prepararse compuestos de él con muy buena resistencia mecánica a la tensión y al rasgado. Por su estructura química es resistente al aceite, a los materiales químicos, al calor, la humedad y la flama. Es altamente resistente al ozono y al ataque de la intemperie.

En relación a su resistencia a la flama, como en su constitución contiene cloro, el material es prácticamente no propagador de ella, es decir, cuando a un compuesto de neopreno se le aplica una flama, continuará ardiendo mientras la flama se sostiene, pero en el momento

en que ésta se retira, el neopreno deja de quemarse, por esta razón es muy usado como cubierta exterior no propagadora en aislamientos que sí propagan la flama. [16]

Polietileno clorosulfonado, (CP), (JYPALON), (CSPE): Este material es de aplicación más reciente que el neopreno, en la industria manufacturera de conductores eléctricos. Está especificado por la Norma NMX-J- 061 como aislamiento de los cables tipo RHH y RHW. Puede emplearse como un compuesto aislamiento - cubierta integral para muchos tipos de cables, especialmente del tipo automotriz.

Posee buenas cualidades eléctricas para usarse como un aislamiento eléctrico de baja tensión. Posee una gran resistencia al ozono y al efecto corona. Tiene muy buena resistencia al calor y a la humedad y pueden prepararse formulaciones especiales para muy bajas temperaturas. Su constante dieléctrica, su factor de potencia y sus otras características eléctricas no permiten aplicarlo como un aislamiento para altas tensiones. [16]

Polietileno clorado, (CPE): Este polímero existe tanto en compuestos termoplásticos, como en termófilos (elastoméricos). Al igual que el neopreno y que el hypalon, por sus propiedades dieléctricas inherentes, el CPE se emplea únicamente como aislamiento en productos de baja tensión, 600 volts y encuentra su principal aplicación en el área de la fabricación de cubiertas exteriores para alambres y cables. Hay CPE para 90 y para 105°C. Uno de sus recientes usos se encuentra como aislamiento de los cordones térmicos portátiles para plancha, tipo HPN. [16]

Polietileno (PE): Es un material termoplástico constituido por cadenas lineales o ramificadas de monómetros de etileno. Fue originalmente desarrollado en 1 937 y abundantemente fabricado en los Estados Unidos a partir de 1 940. Eléctricamente, el polietileno posee el mejor conjunto de cualidades que se pueden esperar en un aislamiento sólido: alta rigidez dieléctrica, bajo factor de potencia y constante dieléctrica, alta resistividad volumétrica.

Sus propiedades mecánicas son buenas, sin embargo sus limitaciones principales son su pobre resistencia a la flama, su termoplasticidad, su deterioro por la acción de los rayos ultravioleta y su poca resistencia a la ionización. El polietileno convencional está normal izado como aislamiento para conductores para 600 o 1 000 volts, cuya temperatura de operación en el conductor no exceda de 75°C.

El polietileno natural de baja densidad está formado por la polimerización de moléculas de etileno en forma lineal simple, pero si el proceso de polimerización se conduce a baja presión se obtienen cadenas con ramificaciones resultando un compuesto más duro y rígido y especialmente resistente a la abrasión, que si se pigmenta con negro de humo especial proporciona un material excelente para cables tipo intemperie o para distribución aérea de baja tensión. [16]

Polietileno de cadena cruzada (XLPE o XLP): Se produce por la combinación de un polietileno termoplástico y un peróxido orgánico adecuado, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. La resina de polietileno reticulada se puede emplear pura o mezclada con negro de humo o cargas minerales que le mejoran sus propiedades físicas, pero disminuyen sus cualidades eléctricas, por lo que esta combinación solo se emplea como aislamiento para cables hasta 5 000 volts, sin cubierta exterior.

Los aislamientos de polietileno reticulado para al tas tensiones tienen buenas cualidades mecánicas, poseen buena resistencia a la compresión y deformación térmicas y tienen una excelente resistencia al envejecimiento por altas y bajas temperaturas. Sus cualidades eléctricas como rigidez dieléctrica, factor de potencia, constantes dieléctricas y de aislamiento, así como su estabilidad eléctrica en agua son sobresalientes. Es altamente resistente al ozono, a la humedad y productos químicos. [16]

2.8.4. Características de los aislamientos para conductores eléctricos.

Debe recordarse que un material aislante es toda substancia de tan baja conductividad que el paso de la corriente eléctrica a través de ella es prácticamente despreciable. En relación con la idea anterior, se t i ene en cada aislamiento eléctrico una cierta cantidad de características o parámetros que permiten estudiar, evaluar y comparar estos materiales.

Los valores mecánicos importantes son: la resistencia a la tensión mecánica y al alargamiento de un material antes y después de someterlos a una prueba de envejecimiento acelerado, así como también su dureza y flexibilidad. Entre las cualidades eléctricas están: la rigidez dieléctrica del material, su resistividad, su factor de potencia y su constante dieléctrica. Otros aspectos importantes serán su resistencia al calor, al ozono, a la humedad, a la intemperie, a la luz solar, a los aceites y productos químicos. [16]

Rigidez dieléctrica: La rigidez dieléctrica o gradiente eléctrico de un aislamiento representa el número de volts requerido para perforarlo. En un aislamiento cuya sección no cambie a través de su espesor, está dada por la relación entre la tensión (volts) aplicada y el espesor del aislamiento (kV/mm). En un aislamiento cuya sección transversal cambia a través de su espesor, como es el caso de un cable que tiene un radio mínimo en la vecindad del conductor y máximo en la superficie exterior, el gradiente dieléctrico es variable. [16]

Según la forma como se mida el gradiente eléctrico se puede obtener val ores diferentes. En un cable por ejemplo, se puede medir de las siguientes formas:

- Con corriente alterna incrementando la tensión (volts) en forma escalonada, hasta la falla.
- Con corriente alterna incrementando rápidamente la tensión (volts), hasta la falla.
- Con impulsos eléctricos de muy alta tensión (volts), pero de muy poca duración (micro-segundos).
- Con corriente directa incrementando gradualmente la tensión (volts).
- Con corriente alterna a una mediana tensión (volts), pero a largo tiempo.

Constante dieléctrica (SIC): La constante dieléctrica o capacidad inductiva específica (SIC) de un aislamiento es la relación entre la capacitancia de un condensador cuyo dieléctrico sea el aislamiento en cuestión y la capacitancia del mismo condensador con aire como dieléctrico. La constante dieléctrica de un aislamiento en un cable determina la corriente de carga capacitiva que se produce en el cable y que se traduce en pérdidas dieléctricas. Conviene que tenga un valor lo más bajo posible. [16]

$$\text{Cn} = \frac{0.024\ 13}{log10\ R/r}\ \mu F\ x\ kmm^{-1}$$

Donde:

- Cn = Capacitancia al neutro del cable.
- R = Radio exterior del aislamiento.
- r = Radio exterior del conductor

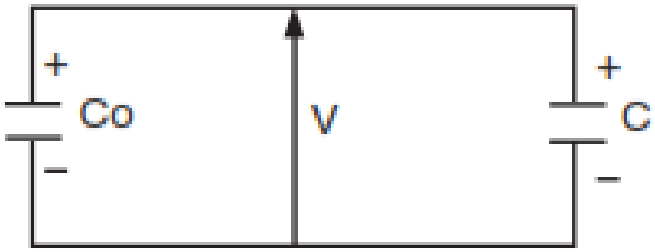


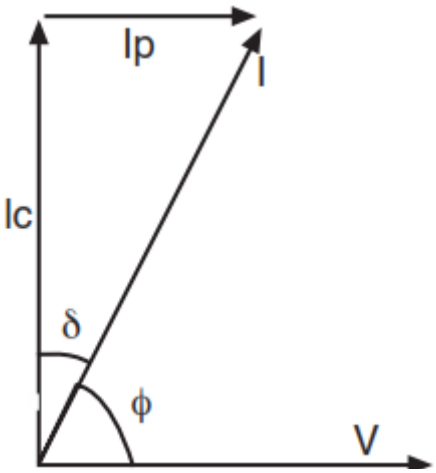
Fig. 2.3.2 *Propiedades físicas de los metales a 20º C*

$$SIC = \frac{\text{C}}{Co} \quad (\text{sin}\, unidades)$$

Donde:

- C = Capacitancia del material aislante.
- Co = Capacitancia del aire.

Factor de potencia (fp): También conocido como factor de pérdidas de aislamiento, representa la relación entre la potencia activa disipada en el dieléctrico (Wa) y la potencia reactiva (Wr). Es mayor mientras más imperfecto sea el dieléctrico; es decir, mayor será la corriente de pérdidas (Ip) que se presenta cuando el desfasamiento entre la tensión (volts) aplicada y la corriente capacitiva (Ic) inducida, es menor de 90º.



.

δ + ϕ =90º

δ = angulo de perdidas.

Wr = IcV

Wa = IcV cot. ϕ

Factor de potencia = $\frac{\text{Wa}}{Wr}$r = cos ϕ

Fig. 2.3.3 *Propiedades físicas de los metales a 20º C*

El factor de potencia en un aislamiento aumenta con la presencia de humedad y con la elevación de temperatura. La medición del factor de potencia es uno de los medios más efectivos para detectar humedad o deterioro de un aislamiento. El factor de potencia, junto con la constante dieléctrica del aislamiento, determina las pérdidas dieléctricas de un cable. Por lo tanto conviene que el factor de potencia sea lo más bajo posible. [16]

Resistencia de aislamiento (Ra): La resistencia del aislamiento mínima especificada de un cable es la resistencia media entre el conductor y un electrodo que se encuentra envolviendo la superficie exterior de aislamiento. En base a las dimensiones del cable se puede determinar lo que se llama la constante de resistencia de aislamiento (K) que es independiente de las dimensiones. Las pruebas de resistencia de aislamiento son una forma sencilla para determinar el deterioro de un aislamiento y suelen efectuarse en la fábrica y en el campo, para determinar el estado de un cable. [16]

La resistencia del aislamiento mínima especificada se calcula con la fórmula:

$$Ra = K \log 10 \left(\frac{\mathrm{D}}{d}\right) Ft \;\; Fl$$

Donde:
Ra = Resistencia de aislamiento en Mohm/km
K = Constante de resistencia de aislamiento (depende del material empleado)
D = Diámetro sobre el aislamiento en mm
d = Diámetro sobre el conductor en mm
Ft = Factor de corrección por temperatura (unitaria a 15.6ºC o 60ºF)
Fl = factor de corrección por longitud = 1000/long. Real del cable

PVC	150
Polietileno	15 250
XLPE	6 100
EPR	6 100
Papel impregnado	3 000

Fig. 2.3.4 *Valores típicos de K a 15.6ºC (monhm/km)*

CARACTERÍSTICAS	BUTILO	POLIETILENO CLORO SULFONADO (HYPALON, CP)	ETILENO PROPILENO (EPR)	POLICLORO-PRENO (NEOPRENO)	POLICLORURO DE VINILO (PVC)	POLIETILENO (PE)	POLIETILENO VULCANIZADO (XLPE)
Resistividad Ohm/cm	10^{17}	10^{14}	10^{15} - 10^{17}	10^{11}	10^{11}	10^{14}	10^{15} - 10^{17}
Rigidez dieléctrica kV/mm (c.a. elev. rápida)	16	—	18	14	16	20	20
Rigidez dieléctrica kV/mm (impulsos)	47	—	54	48	47	60	60
Constante dieléctrica (SIC) a 60Hz y 75°C	3.5	7.0	2.7	9.0	5.5	2.5	2.5
Factor de potencia % a 60Hz y 75°C	1.5	3.0	0.05	3.5	3.0	0.05	0.05
Resistencia a la tracción kg/cm²	175-211	175	35	211-283	120	120-170	—
Alargamiento %	400-800	700	200-400	800-900	500	375-300	400-600
Densidad	0.91	1.12-1.28	1.2	1.23-1.25	1.21	0.93-0.95	0.92
Temperatura de fragilidad °C	-60	-60	-70	-55	-55	-60	-80
Temperatura máx. de operación °C	105	105	90	90	60-75-90-105	90	90
Resistente a:							
oxidación	B - E	E	E	E	R	E	E
ozono	E	E	E	E	R	E	E
desgarre	B	E	R-B	B	MB	B	B
abrasión	B	E	B-E	E	E	E	E
radiación	P	R-B	—	P	R	P-R	P-R
ácidos diluidos	E	E	E	E	P	B	R
ácidos concentrados	E	MB	E	B	P	R	R
hidrocarburos alifáticos	P	B	P	B	P	R	R
hidrocarburos aromáticos	P	R	P	R	B	B	B
hidrocarburos clorinados	P	P	P	M	B	B	B
aceites y gasolinas	M	B	P	B	B	B	B
aceite animal y vegetal	E	B	B-E	B	B	E	B
absorción de agua	E	B	E	B	M	E	E
envejecimiento solar	M	E	E	MB	E	E	E
envejecimiento por:							
temperatura (100°C)	B	E	E	B	B	B	E
Flama	P	B	P	B	B	R	B
Alcalis	M	B	MB	B	B	B	B

E = excelente, MB = muy bueno, B = bueno, R = regular, P = pobre, M = malo.

Fig. 2.3.5 *Propiedades comparativas de aislamientos*

2.8.5. Conductores desnudos.

Estos conductores se utilizan en instalaciones aéreas de distribución de energía eléctrica en alta o baja tensión, en barras colectoras de subestaciones y en sistemas de tierra. Los alambres de cobre ofrecen una gran resistencia mecánica, sobre todo en temples duro y semiduro, y dado que el cobre es un material resistente a la corrosión, se les usa en áreas salinas o de alta contaminación. [16]

CALIBRE AWG	SECCIÓN TRANSVERSAL		DIÁMETRO NOMINAL		PESO NOMINAL	DURO		SEMIDURO		SUAVE
	mm²	Circular-mils	mm	Pulg.	kg/km	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km	ESFUERZO A RUPTURA MPa	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km	ESFUERZO A RUPTURA MPa	RESISTENCIA A 20°C y C.C. Ohm/km
4/0	107.20	211 600	11.684	0.460 0	953.2	0.165 5	340	0.164 7	340	0.160 8
3/0	85.01	167 800	10.404	0.409 6	755.8	0.208 7	350	0.207 7	345	0.202 8
2/0	67.43	133 100	9.266	0.364 8	599.5	0.263 2	365	0.261 8	350	0.255 7
1/0	53.48	105 600	8.252	0.324 9	475.5	0.331 7	375	0.330 1	360	0.322 4
1	42.41	83 690	7.348	0.289 3	377.0	0.422 9	385	0.420 6	365	0.406 5
2	33.63	66 360	6.543	0.257 6	289.9	0.533 2	395	0.530 5	370	0.512 8
3	27.67	52 620	5.827	0.229 4	237.1	0.672 3	405	0.688 7	380	0.646 4
4	21.15	41 740	5.189	0.204 3	188.0	0.847 8	415	0.843 2	380	0.815 3
5	16.77	33 090	4.620	0.181 9	149.0	1.068 9	420	1.063 3	385	1.027 9
6	13.30	26 240	4.115	0.162 0	118.2	1.347 8	430	1.340 9	385	1.296 3
7	10.55	20 820	3.665	0.144 3	93.8	1.699 8	435	1.691 0	390	1.634 5
8	8.37	16 510	3.264	0.128 5	74.4	2.143 4	440	2.132 3	390	2.061 1
9	6.63	13 090	2.906	0.114 4	59.0	2.702 8	440	2.688 7	395	2.598 8
10	5.26	10 380	2.588	0.101 9	46.8	3.408 9	445	3.389 2	395	3.277 3
11	4.17	8 230	2.304	0.090 7	37.1	4.298 1	450	4.275 1	400	4.134 0
12	3.31	6 530	2.052	0.080 8	29.4	5.420 2	455	5.380 0	400	5.210 2
13	2.63	5 180	1.829	0.072 0	23.3	6.834 3	455	6.788 2	400	6.571 8
14	2.08	4 110	1.628	0.064 1	18.5	8.615 9	455	8.573 2	405	8.284 5
15	1.65	3 260	1.450	0.057 1	14.7	10.866 6	460	10.810 8	405	10.446 7
16	1.31	2 580	1.290	0.050 8	11.6	13.701 4	460	13.629 2	410	13.176 4
17	1.04	2 050	1.151	0.045 3	9.24	17.277 7	460	17.189 1	410	16.614 9
18	0.823	1 620	1.024	0.040 3	7.32	21.785 8	460	21.647 2	415	20.949 1
19	0.653	1 290	0.912	0.035 9	5.81	—	—	—	—	26.415 3
20	0.519	1 020	0.813	0.032 0	4.61	—	—	—	—	33.302 1
21	0.410	812	0.724	0.028 5	3.66	—	—	—	—	41.996 8
22	0.324	640	0.643	0.025 3	2.88	—	—	—	—	52.955 3
23	0.258	511	0.574	0.022 6	2.30	—	—	—	—	66.801 1
24	0.205	404	0.511	0.020 1	1.82	—	—	—	—	84.223 2
25	0.162	320	0.455	0.017 9	1.44	—	—	—	—	106.205 9
26	0.128	253	0.404	0.015 9	1.14	—	—	—	—	133.895 6
27	0.102	202	0.361	0.014 2	0.908	—	—	—	—	168.873 0
28	0.081	159	0.320	0.012 6	0.715	—	—	—	—	212.936 9
29	0.064	128	0.287	0.011 3	0.575	—	—	—	—	268.517 0
30	0.051	100	0.254	0.010 0	0.450	—	—	—	—	338.599 2
31	0.040	79.2	0.227	0.008 9	0.359	—	—	—	—	426.858 1
32	0.032	64.0	0.203	0.008 0	0.285	—	—	—	—	538.412 1
33	0.025	50.4	0.180	0.007 1	0.226	—	—	—	—	678.838 9
34	0.020	39.7	0.160	0.006 3	0.179	—	—	—	—	1 079.449 0

Fig. 2.3.6 *Especificaciones para alambre desnudo duro, semi-duro y* suave.

La gama de cables desnudos para líneas aéreas se divide, en función de su uso, en conductores de fase y cables de tierra. Se compone principalmente de cables de aluminio, de aleaciones de aluminio y de aluminio-acero aunque también cuenta con cables de cobre duro, que tradicionalmente se usaban en las líneas de EDP. El uso del aluminio como sustituto del cobre en las líneas aéreas data de finales del siglo XIX.

El motivo de este cambio fue su peso, apenas un tercio, y el elevado coste del cobre. Con el incremento del consumo, las líneas aéreas cobraron una extraordinaria importancia. La necesidad de transportar electricidad por todo tipo de terrenos obligó a desarrollar cables más sólidos que pudieran utilizarse en trazados cada vez más complejos, con vanos más grandes, y que garantizaran un tiempo de vida útil de varias decenas de años.

A pesar de su gran potencial a nivel de capacidad de transporte, los cables de aluminio no resultaban adecuados en determinadas situaciones debido a su insuficiente resistencia mecánica, que implicaba tensiones de ruptura bajas, una fluencia excesiva o un coeficiente de expansión térmica elevado. Por ese motivo fueron surgiendo otras soluciones basadas en la utilización de hilos de otros materiales, concretamente aleaciones de aluminio e hilos de acero galvanizado, empleados como elementos de refuerzo. Más recientemente, el uso de hilos de acero revestidos con una fina película de

aluminio ha permitido obtener unos cables más resistentes a la corrosión que los que llevan hilos de acero galvanizado.

Esencialmente, los cables aéreos desnudos están formados por un cableado de hilos de uno o más materiales dispuestos en capas concéntricas y en sentido alterno. Modificando el diámetro de los hilos, la relación de los hilos en el caso de los cables de aluminio-acero y el número de capa se obtiene toda una variedad de diseños que permiten responder a los requisitos de cada línea, tanto a nivel de capacidad de transporte y de los parámetros eléctricos asociados, como en lo referido a las características mecánicas impuestas por el trazado: altura máxima con respecto al suelo, flechas, vanos, etc. [19]

Fig. 2.3.7 *Cables desnudos para uso en la media* tensión

Conductores trenzados: Se usan generalmente debido a su mayor flexibilidad y consecuente facilidad de manejo. Entre mayor sea el número de alambres en cualquier sección transversal dada, mayor será la flexibilidad del conductor. La mayoría de los conductores de mayor tamaño que el 4/0 AWG son trenzados. Generalmente, en un conductor trenzado concéntricamente, todos los alambres son del mismo tamaño y del mismo material, aunque existen conductores especiales con alambres de diferente tamaño y material.

La flexibilidad de cualquier tamaño dado de cable se incrementa conforme aumenta el número de alambres. Es práctica común incrementar el número total de alambres conforme crece el diámetro del cable con el fin de proporcionar una flexibilidad razonable en su manejo. Los llamados cables flexibles concéntricos usados en cables aislados tienen una o dos capas más de alambres que el tipo estándar de cable de uso ordinario.

Todos los alambres de un conductor trenzado, excepto el alambre del núcleo, forman hélices continuas de longitud ligeramente mayor que el eje o núcleo. Esto causa un incremento ligero en el peso y en la resistencia eléctrica y una ligera disminución en la resistencia a la tensión y algunas veces afecta la inductancia interna en comparación

teórica con un conductor de iguales dimensiones pero formado por alambres rectos paralelos al eje. [17]

Conductores compuestos: Son aquellos hechos usualmente de dos tipos diferentes de alambres con distintas características. Ellos se diseñan generalmente para una razón de características físicas y eléctricas diferentes de las encontradas en los materiales homogéneos. Los conductores ACSR (aluminio reforzado con acero) y ACAR (aleación de aluminio reforzado), son los tipos más comunes usados en líneas aéreas de transmisión y distribución.

Los cables de este tipo son particularmente adaptables a construcciones de gran vano o claro o a otras condiciones de servicio que requieren más de una resistencia promedio (dada por el acero) combinada con una buena conductancia eléctrica (dada por el aluminio). Ellos se prestan fácilmente a un uso económico y confiable en líneas de transmisión, en líneas de distribución rural y urbana cuando se requieren en vanos muy largos. [17]

Resistencia de los conductores: El paso de los electrones a través de un conductor no se logra sin que estos sufran choques con otras partículas atómicas. Es más, estas colisiones no son elásticas y se pierde energía en cada una de ellas. La cantidad de energía que pierden los electrones se relaciona con las propiedades físicas del material conductor por el cual circula una corriente eléctrica dada, la resistencia indica la tasa promedio a la que la energía eléctrica se convierte en calor.

Dentro de los límites normales de operación de los conductores eléctricos, los únicos cambios apreciables en los materiales usados son los incrementos en la resistencia y en la longitud que estos sufren en virtud de los cambios de temperatura. El más importante para cables subterráneos y líneas aéreas es el cambio en el valor de la resistencia ya que el incremento en la longitud sólo es importante en el caso de líneas aéreas con grandes tramos entre postes.

- **Efecto piel:** Las pérdidas de energía por resistencia resultan algo mayores que las pérdidas que se producen cuando circula una corriente directa de magnitud igual al valor eficaz de la corriente alterna. Al circular corriente directa por el conductor se tendrá una densidad de corriente uniforme en toda la sección del conductor. En cambio cuando circula corriente alterna por el mismo conductor, la densidad de corriente es mayor en la superficie que en el centro de dicho conductor.
- **Efecto de proximidad:** Cuando un conductor por el que fluye una corriente eléctrica alterna se encuentra cercano a otro que transporta un flujo de iguales características pero de sentido contrario, crea una resta vectorial de densidad de flujo, originando una reducción en la inductancia en las caras próximas y en las diametralmente opuestas, dando por resultado una distribución no uniforme de la densidad de corriente y aumento aparente de la resistencia efectiva, la cual se calcula afectando la resistencia original por un factor Yp. [17]

Resistencia y reactancia aparentes de cables subterráneos: Una forma simplificada para determinar los efectos de las corrientes que circulan en pantallas y cubiertas metálicas es considerar un cable imaginario sin pantalla, que presente una resistencia y

reactancia comparable a la que presenta un conductor real, incluidos los efectos de la pantalla.

A la resistencia y reactancia de este cable imaginario se les conoce como Resistencia y Reactancia Aparentes y los valores obtenidos de estos parámetros permiten de una manera directa el cálculo de la impedancia de la línea, caídas de tensión, etc. De forma análoga, la reactancia aparente se obtiene al restar, a la reactancia que se obtendría de un cable idéntico sin pantalla o cubierta metálica, un término similar de naturaleza inductiva. [17]

2.9. Equipos de protección y seccionamiento.

Un equipo de protección y seccionamiento es un aparato destinado a cortar o establecer la continuidad de un circuito eléctrico con o sin carga. La parte crucial para definir un aparato de corte es la finalidad que desempeña. Por ejemplo, funciona para dejar fuera una parte del circuito de la red eléctrica logrando así que dicha parte se quede completamente sin carga o como medida de protección para evitar la propagación de de una falla sobre toda la red. [20]

2.9.1. Cuchillas

Su función es conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, se encuentra normalmente al inicio de las líneas principales de alimentación. Tiene la característica de que no puede interrumpir una corriente de falla o cuando esté fluyendo corriente. Las cuchillas en media tensión y alta tensión deben manejarse de una manera específica dado que un mal uso puede provocar un daño personal a quien esté operando el equipo.

Fig. 2.4.1 *Cuchillas de operación en grupo (COGC) con acción manual*

Proceso de desconexión de cuchillas:

- Desconexión del interruptor principal.
- Abrir la cuchilla que se tiene contemplado
- Colocación del candado de seguridad en el interruptor principal y cuchilla (siempre que sea posible), de esta forma evitamos que otro operario involuntariamente conecte el circuito.
- Colocación del cartel indicativo de avería eléctrica, mantenimiento o similar
- Ahora se puede manipular la instalación afectada.

Proceso de conexión de cuchillas procede de forma inversa.

Clasificación de cuchillas:

- Por su operación (con carga o sin carga)
- Por ser manuales o motorizadas
- Por su forma de desconexión

La anterior clasificación parte de las bases de una cuchilla y en el mercado existe una gran variedad de estas, al escoger el tipo de cuchilla adecuada de acuerdo a nuestras necesidades, necesitamos los siguientes valores:

- Tensión nominal de separación
- Corriente nominal
- Corriente de corto circuito simétrica
- Corriente de corto circuito asimétrica
- Tipo de montaje (horizontal o vertical) y forma de mando. [20]

2.9.2. Fusibles.

En una instalación eléctrica, los equipos eléctricos pueden ser dañados debido a fallas en el sistema eléctrico, como es una sobrecorriente que es causado por sobrecargas o cortocircuito. Para proteger dichos efectos se utilizan los fusibles que en sí, son dispositivos que evitan la propagación de la anomalía en la red eléctrica. Existe una gran variedad de fusibles, los cuales van acorde a su capacidad continúa de conducción de corriente. Analizaremos los fusibles para sistemas arriba de 600 V. [20]

Fig. 2.4.2 *Fusibles de diferentes capacidades y construcción*

Fusible de potencia limitador de corriente: Está integrado por uno o más elementos de cintas metálicas perforadas dentro de un tubo aislante, resisten a grandes presiones provocadas por las energías térmicas generadas durante el arqueo. Las cintas metálicas (comúnmente de plata o elementos sensibles a la corriente) están rodeadas íntimamente por arena sílica (Si02) o de cuarzo con la finalidad de extinguir el arco eléctrico producido por alguna falla y soportar la alta presión durante su operación.

Durante la operación por corto circuito, con valores de corriente comprendidos entre su rango limitador de corriente, el fusible operará (romperá) simultáneamente en todas las zonas que se diseñen para esta finalidad (perforaciones o secciones transversales reducidas) generando tensiones de arco, en cada una de estas secciones reducidas, de aproximadamente 50 volts (plata) que al reaccionar con la arena sílica que lo rodea se forma fulguritas.

Puesto que la magnitud de resistencia óhmica del fusible, durante el arqueo y posterior a éste, es muy grande, origina en el circuito eléctrico un factor de potencia cercano a la unidad (durante el tiempo que toma el fusible para interrumpir la falla) y motiva a alcanzar a la tensión, lográndose la extinción total muy cerca del cero de tensión; por este motivo, los fusibles limitadores son prácticamente insensibles a las condiciones de la TTR.

Tipos de limitadores de corriente:

- Fusible de respaldo, es aquel que puede interrumpir cualquier corriente desde su valor máximo hasta su corriente mínima de ruptura (diseñado para tiempos cortos).
- Fusible de propósito general, Es el que puede interrumpir cualquier corriente desde su máxima nominal, hasta una corriente que funda el elemento en una hora (3600 segundos)
- Fusible de rango pleno o rango completo, puede interrumpir cualquier corriente desde su máximo valor nominal hasta cualquier corriente que funda el fusible en tiempos mayores a una hora. [20]

Fusible tipo expulsión: Está formado por un pequeño eslabón fusible, el cual al fundir provoca que el arqueo producido genere gases desionizantes del material vecino provocando una gran turbulencia alrededor del arco, de manera que cuando la corriente pasa por un valor natural cero, el canal de arco se reduce a un mínimo quedando interrumpido el flujo de corriente, pudiéndose expulsar los gases hacia el exterior del fusible, por lo que no se usa en interiores. [20]

Fusible tipo distribución para uso en cortocircuitos: Se utilizan principalmente en redes de distribución aéreas, su uso en instalaciones industriales está limitado debido a la restricción de su aplicación en instalaciones tipo interior. Se caracteriza porque la mayoría emplea un aislador de porcelana que soporta el cartucho que contiene el elemento fusible.

Para poder determinar y escoger el tipo de fusible acorde a una necesidad, es necesario comprender los conceptos que se manejan para el tema.

- Corriente mínima de fusión, es la corriente mínima que provoca la operación del elemento sensible a la corriente en un tiempo especificado y bajo condiciones establecidas, siempre es mayor que la corriente nominal.
- Tiempo de fusión o pre-arqueo, es el tiempo desde el instante que el fusible detecta la sobrecorriente, hasta el momento en que ocurre la fusión y la separación del elemento sensible a la corriente.
- Tiempo de arqueo, es el tiempo inmediato después de haber terminado la fusión hasta la extinción total del arco.
- Tiempo de interrupción total, es la suma de los tiempos de fusión y de arqueo.
- Corriente de corto circuito o prospectiva, es la corriente de corto circuito que fluiría en un circuito eléctrico, sino fuera limitada por la apertura de un fusible limitador.
- Corriente instantánea de paso libre o corriente pico de fuga, es la corriente máxima que circula por un fusible, durante el tiempo total de interrupción.
- Característica It^2, es la energía resultante del flujo de corriente a través del fusible y se aplica normalmente para el tiempo de fusión, el de arqueo o el de interrupción total que es la energía requerida por el fusible para operar.
- Capacidad interruptora, es la máxima corriente simétrica o la más alta corriente directa que un fusible puede interrumpir satisfactoriamente.
- Tensión de restablecimiento o de recuperación, es la tensión que apare en las terminales de un fusible después que la corriente ha sido interrumpida y está formada por la tensión transitoria de restablecimiento y la tensión de restablecimiento a frecuencia industrial.
- Tensión transitoria de restablecimiento (TTR), es aquella que aparece en condiciones transitorias inmediatamente después de la fusión del elemento sensible a la corriente y sus características dependen básicamente de los parámetros R, L y C del circuito en donde se encuentra instalado.
- Tensión de restablecimiento a frecuencia industrial, esta, aparece inmediatamente después de que termina la parte transitoria.
- Curvas características corriente – tiempo, son las curvas que muestran la relación entre la corriente alterna simétrica o la corriente directa y el tiempo de operación de los fusibles, generalmente dentro del intervalo de 0.01 a 1000 segundos. También se le conoce como características de tiempo inverso. [20]

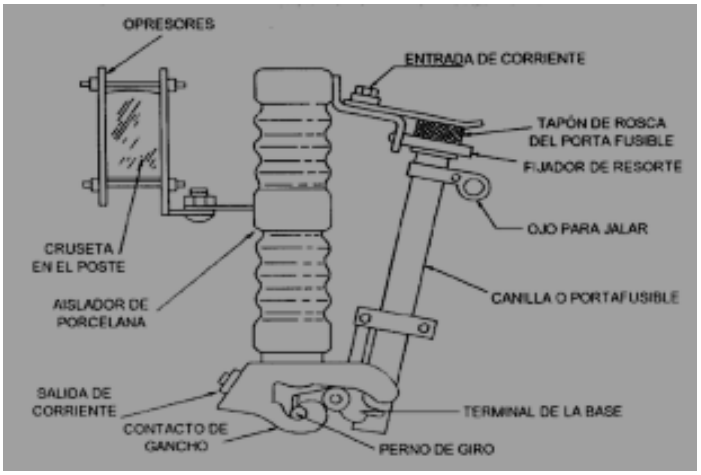


Fig. 2.4.3 *Cortacircuitos tipo distribución*

2.9.3. Interruptores.

Los interruptores cumplen con la función de conectar y desconectar un circuito; con la ventaja de que este cambio se puede realizar con o sin carga. Los interruptores pueden funcionar con corrientes, ya sea de naturaleza capacitiva (líneas en vacío, maniobras con bancos de capacitores), resistiva o inductiva. Y esto es cuando los equipos están energizados, como son: máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables ya sea en condiciones normales o en cortocircuito.

Un interruptor debe ser capaz de "cortar" desde corrientes débiles capacitivas o inductivas hasta elevadas corrientes de cortocircuitos, y por ende, extinguir los potentes arcos eléctricos resultantes. El interruptor es junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación debido a que su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

El interruptor está formado por tres partes principales:

a) Parte activa. Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soporta los contactos móviles.

b) Parte pasiva. La cual desarrolla las funciones siguientes:
   - Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
   - Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor así como espacio para la instalación de los accesorios.
   - Soporta los recipientes de aceite, si los hay y el gabinete de control.

c) Accesorios. En esta parte se consideran incluidos los siguientes componentes:
   - Boquillas, terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.
   - Válvulas de llenado, descarga y muestreo de fluido aislante.
   - Conectores de tierra.
   - Placa de datos.
   - Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, y accesorios como compresora, resorte, bobinas de cierre de disparo, calefacción, etc.

Parámetros de los interruptores.

- Tensión nominal.
- Tensión máxima.
- Corriente nominal.
- Corriente de cortocircuito inicial.
- Corriente de cortocircuito.
- Tensión de restablecimiento.
- Resistencia de contacto.
- Cámaras de extinción del arco. [20]

Interruptores en aire: Existen dos tipos de interruptores de aire, los de soplo de aire y los de aire comprimido, en ambos casos como su nombre lo indica, interrumpen solo con aire entre sus contactos, es decir el arco se disipa por enfriamiento en las placas cerámicas,

se pueden usar en instalaciones al exterior siempre y cuando se instalen en casetas a prueba de intemperie y de lo que conlleva (polvo, lluvia, etc.).

Estos interruptores de soplo de aire han dominado las aplicaciones de alta y muy alta tensión. A partir de 170 kV hasta 800 kV y con capacidades de ruptura de 20 kA hasta 100 kA. Por tal motivo únicamente los mencionamos durante el presente documento. Los interruptores de aire comprimido se pueden usar tanto para exteriores como para interiores, pero los mecanismos del interruptor deben estar instalados en una caseta a prueba de intemperie.

Los podemos encontrar para tensiones en un rango de 2.4kV y 34.5kV, con el paso del tiempo cada fabricante ha implementado innovaciones en estos dispositivos y al igual que los otros componentes de la instalación eléctrica, se escogen de acuerdo a los regímenes de operación de la subestación para brindar seguridad y confiabilidad en la operación de la misma. [20]

Interruptores en vacío: Los mejores aisladores de electricidad o dieléctricos son aquellos materiales que presentan la mayor separación entre electrones libres y así el menor número de estos. Debido a su naturaleza, el vacío constituye una ausencia de cualquier sustancia, la alta rigidez dieléctrica que presenta (es el aislante perfecto) ofrece una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco.

Cuando un circuito en corriente alterna se desenergiza separando un juego de contactos ubicados en una cámara en vacío, la corriente se corta al primer cruce por cero o antes, con la ventaja de que la rigidez dieléctrica entre los contactos aumenta en razón de miles de veces mayor a la de un interruptor convencional (1 KV por µs para 100A en comparación con 50V/µs para el aire). Esto hace que el arco no vuelva a reencenderse.

Basándonos en esta teoría, si operan mecánicamente los contactos eléctricos cuando abren en una cámara de vacío, puede representar una opción interesante y representar algunas ventajas sobre otros tipos de interruptores. Su funcionamiento y manera de extinguir el arco se da en los contactos, con la separación de estos se verifica la generación de un arco eléctrico que está constituido exclusivamente por la fusión y vaporización del material de los contactos.

Con los contactos ranurados se tienen arcos difusos a bajos niveles de corriente, así que cerca del cruce por cero de la señal se tienen este tipo de arcos que son más fácil de ser extinguidos. A continuación, la brusca reducción de la densidad de carga transportada y la rápida condensación del vapor metálico lleva a un inmediato restablecimiento de las propiedades dieléctricas.

Para evitar un sobre calentamiento de los contactos en el punto donde se presenta el arco, las ranuras diagonales hacen que el arco gire alrededor de los contactos y no se concentren en un solo punto. Desde el punto de vista operacional, el vapor metálico resulta ser una de las características más relevantes en estos dispositivos, ya que su dosificación regula o nivela la intensidad de corriente del arco.

La botella de vacío vuelve a adquirir su poder aislante y la capacidad de sostener la tensión transitoria de retorno, extinguiendo definitivamente el arco. Como en el vacío es posible alcanzar una elevada rigidez dieléctrica, incluso con distancias mínimas, la interrupción

del circuito está garantizada también cuando la separación de los contactos se verifica pocas milésimas de segundo antes de que pase la corriente por el cero natural.

El particular diseño de los contactos y del material, así como también la reducida duración y la baja tensión del arco, garantizan un desgaste mínimo de los contactos y una gran durabilidad. El vacío además impide su oxidación y contaminación. Por tal motivo se recalca la elección adecuada del material de los contactos, ya que es crucial para limitar las emisiones de vapores y favorecen su condensación dentro de microsegundos, de otro lado se destruyen.

La elección del fabricante, influirá en los tipos de materiales que se utilicen para los contactos, en varios casos, la aleación de cobre cromado libre de oxígeno puede representar el mejor material para los interruptores automáticos de alta tensión y se usa comúnmente la forma de tope para los contactos. El interruptor es simple en su construcción, se tienen dos contactos tipo disco dentro de un cilindro contenedor o envase.

La cámara es evacuada para proporcionar el vacío, un contacto es fijo y el otro móvil, se desplaza hacia el primero o se aleja de él según sea el caso de cierre o apertura. Este movimiento se controla por medio de una barra de acero o fuelle que se acciona desde el exterior. La separación entre los contactos depende del tipo de fabricante pero va desde 6 milímetros hasta alrededor de 2.5cm, lo cual se debe a la alta capacidad dieléctrica del vacío, esto produce una interrupción segura y rápida de las corrientes de carga o de falla. [20]

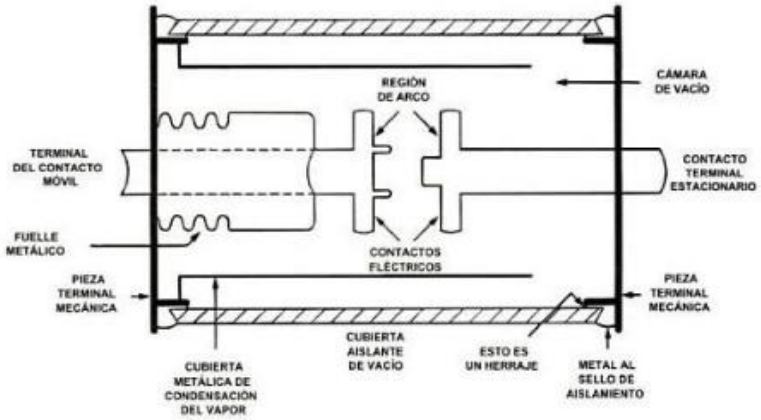


Fig. 2.4.4 *Esquema de los contactos de un interruptor en vacío*

Interruptores en aceite: Este tipo de interruptores trabajan por medio de flujos de aceite como medio de extinción del arco, y se utiliza la energía propia del mismo para generar dichos flujos, para fracturar las moléculas de aceite y producir gas hidrogeno, éste se usa para adelgazar, enfriar y comprimir el plasma del arco lo que provoca que se desenergice y genere un proceso de auto extinción. Aunque los contactos del interruptor estén inmersos en aceite, la presencia del arco se da durante la separación de los contactos.

El calor proveniente del arco evapora el aceite circundante y lo disocia en carbón (razón por la cual se requiere mantenimiento de estos interruptores) y en una gran cantidad de hidrogeno a alta presión, la conductividad del calor del hidrogeno es alta, resultando como

un enfriamiento del arco y los contactos; esto incrementa el voltaje de ignición y extingue el arco.

Fueron los más utilizados para sistemas que operan a más de 13.8kV, principalmente para instalaciones a la intemperie aunque existen interruptores de aceite para interiores, se conforman básicamente por un tanque o recipiente que contiene el aceite, dentro del cual se instalan los contactos y el mecanismo de operación. Existen varios diseños desarrollados por los fabricantes para minimizar los efectos del arco y la manera en que se extingue este dentro del tanque.

Los interruptores de gran volumen de aceite tienen un tanque de acero parcialmente lleno de aceite a través de cuya cubierta se monta la porcelana o los aisladores. Los contactos en la parte inferior de los aisladores están puenteados por una cabeza de conducción la cual puede ser de madera o de una varilla compuesta para elevación, la que en los diseños comunes cae por efecto de la gravedad seguido por la separación de los contactos por un sistema de resortes, abriendo de esta manera el interruptor.

Un colchón de aire sobre el nivel de aceite sirve como una expansión del volumen para prevenir que se forme la presión dentro de la cámara luego de la interrupción de la corriente de cortocircuito. Este tipo de interruptor presenta algunas desventajas como gran peso y volumen, riesgo de incendio en las instalaciones, fuerte reacción para hacer tierra, fallas frecuentes de los aisladores, etc.

Fig. 2.4.5 *Interruptor de gran volumen de aceite*

Por otro lado encontramos a los interruptores de volumen reducido de aceite, que fueron creados a raíz de los problemas que se derivaron de los de gran volumen así como reducir la cantidad de aceite en los patios y llaves a una cantidad que no pudiera representar algún peligro. El volumen de aceite se reduce en un factor de 10 o hasta 20. Los contactos son colocados en un envase cilíndrico, aislado con conexiones para terminales en cada extremo y colocados en un soporte aislado.

Comparado al interruptor en gran volumen de aceite, se ha mejorado considerablemente el aislamiento a tierra por la eliminación de los vulnerables bushings de aislamiento y del tanque metálico en la proximidad del arco. El aceite ya no aísla a la tierra. Estos

utilizan un dispositivo de control de arco en la cámara de arco, que reduce físicamente el arco y el tiempo del arco, y por lo tanto se reduce la energía de este.

Cuando el interruptor interrumpe pequeñas corrientes, el arco se extingue por un flujo axial forzado de aceite. A niveles de cortocircuitos, el arco se reduce como una función de la corriente. El arco explota por un chorro de aceite en ángulos perpendiculares a sus ejes, y se apaga. La mayor parte de los interruptores de mínimo volumen de aceite son diseñados para un rápido recierre. Ellos deben tener la capacidad de interrumpir las corrientes de cortocircuito dos veces seguidas en intervalos de 0.2 segundos a 0.3 segundos.

Por lo tanto el dispositivo de control del arco debe contener suficiente aceite para que se realice la segunda interrupción. A tensiones de transmisión por debajo de 3465kV, los interruptores automáticos en aceite solían ser muy populares. Éstos han ido gradualmente perdiendo terreno a los interruptores automáticos de soplado de gas tales como los interruptores automáticos de soplado de aire y los interruptores automáticos de SF_6. [20]

Interruptores de Hexafloruro de Azufre (SF_6): Ciertos gases, llamados electronegativos, tiene mayor calidad de aislamiento que el aire. Entre ellos está el hexafloruro de azufre, SF6, que ha tenido mucho éxito en el diseño de aparatos eléctricos porque tienen excelentes propiedades de aislamiento e increíbles propiedades de extinción de arco.

Son cinco veces más pesados que el aire, sin olor, sin color, no es inflamable y no es tóxico cuando está nuevo. Su esfuerzo dieléctrico es tres veces el del aire dieléctrico. Cuando se le somete a un arco eléctrico se descompone parcialmente. En la presencia de la humedad y de impurezas produce un residuo ácido que ataca al metal y los sellos de aislamiento. Un método eficiente para reducir los residuos es con la utilización de alúmina activada dentro de las cámaras que contienen el gas.

El SF_6 es un gas en temperaturas normales, y a la presión atmosférica se vuelve líquido a 60°C, y a 20 bars se vuelve líquido a 20°C, lo cual es muy negativo para sus cualidades de aislamiento. Para aplicaciones de bajas temperaturas, deberá calentarse o mezclarse con otros gases como el Nitrógeno o el CF4. Este gas es estable incluso a temperaturas a las que el aceite se oxida o se descompone.

Es considerado el gas más efectivo para proveer aislamiento e interrupción del arco. Fue inicialmente introducido y utilizado en un principio en interruptores de transmisión pero se usó de manera masiva en voltajes de distribución a finales de la década de los 70. Existen varios tipos de interruptores de hexafloruro de azufre, uno de estos son los interruptores conocidos como “sopladores” , los cuales utilizan un pistón y un arreglo de cilindro, operados o manejados por un mecanismo de operación.

En apertura, el cilindro que contiene el gas es comprimido contra el pistón incrementando la presión del gas lo cual forzar el gas por una boquilla anular en el contacto provocando un soplo en el área del arco. El gas ayuda a enfriar y desionizar el arco lo que provoca una interrupción del mismo al cruce de la corriente por cero. Las propiedades dieléctricas del SF_6. Son rápidamente restablecidas en el calor del arco, dando un rápido incremento en la fuerza dieléctrica cuando el voltaje alrededor de los contactos empieza a elevarse.

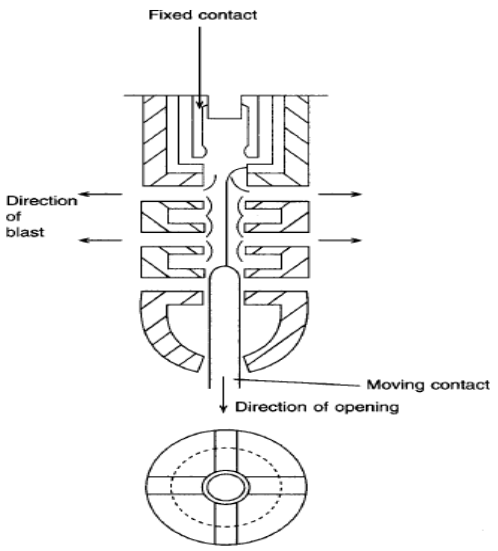


Fig. 2.4.6 *Dispositivo de control de la explosión axial*

Otros diseños de circuitos interruptores de SF_6 empezaron a desarrollarse en la década de los 80s, estos hacen más uso de la energía del arco para ayudar a la interrupción, permitiendo el uso de un mecanismo de operación más ligero y más económico. Mientras que en el diseño del soplador la compresión del $_{SF6se}$ hace para impulsar un flujo sobre un arco que es básicamente estacionario, estos nuevos diseños mueven el arco por el gas para ayudar a su interrupción.

En el circuito interruptor de arco rotante, una bobina se enrolla alrededor de un contacto fijo. Como el contacto móvil se retira del contacto fijo, la corriente es transferida a un contacto de arqueo y pasa por la bobina. La corriente en la bobina establece un campo magnético axial con el camino del arco en perpendicular al flujo magnético y la rotación del arco se induce de acuerdo a la regla de la mano izquierda de Fleming y la magnitud de su rotación es proporcional a la magnitud de la corriente.

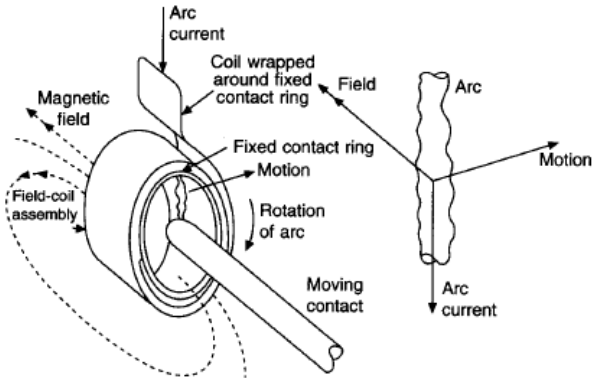


Fig. 2.4.7 *Esquema de funcionamiento*

Se requiere un diseño cuidadoso para asegurar un adecuado cambio de fase entre el flujo y la corriente para mantener un adecuado movimiento del arco cuando la corriente cae hacia su cruce por cero. Otros tipos de circuito interruptor auto- extinguidor utilizan una boquilla aislada que es similar a la del interruptor de soplado pero con una bobina para producir un campo magnético para mover el arco.

La energía térmica en el arco es utilizada para incrementar la presión local. Esto resulta en movimiento de arco el cual nuevamente es proporcional a la corriente, y provoca una interrupción exitosa. En algunos diseños se utiliza un pequeño soplador para asegurar que hay suficiente flujo de gas para interrumpir niveles bajos de corriente donde la energía térmica en el arco es relativamente baja. [20]

2.9.4. Apartarrayos.

Básicamente es un dispositivo que nos sirve para eliminar sobre voltajes transitorios de las líneas de distribución eléctrica. Estos sobre voltajes se producen por descargas atmosféricas sobre las líneas o por cambios repentinos en las condiciones del sistema (como operaciones de apertura/cierre, fallas, cierre de cargas, etc.). CFE actualmente requiere que en la mayoría de los diseños de subestaciones se integren apartarrayos.

Fig. 2.4.8 *Apartar rayos sintéticos*

2.9.5. Restauradores para la media tensión.

Los Restauradores son equipos que permiten una mejor operación de las redes eléctricas aéreas de distribución, permitiendo reducción de pérdidas y de costos de operación. En las redes eléctricas aéreas de distribución, la mayor parte de las fallas eléctricas son del tipo temporal, ya sea porque el viento hace que las líneas disminuyan la distancia dieléctrica entre sí, porque una rama queda en contacto con dos líneas, por las alas de un ave que rompe la rigidez dieléctrica, por un golpe a un poste, entre otros.

La función principal del Restaurador es proteger las redes eléctricas aéreas por fallas de corto circuito; con la particularidad de que estos equipos realizan recierres en tiempos establecidos, de tal forma que si la falla temporal es despejada, entonces el suministro de energía eléctrica se restablece de forma automática. Los Restauradores son equipos eléctricos de potencia, que como cualquier interruptor de potencia, requiere de un elemento de protección y control para su operación. [21]

Fig. 2.4.9 *Restaurador*

2.9.6. Seccionadores de media tensión.

Los seccionadores son interruptores de media tensión capaces de abrir una línea de media tensión en condiciones de cortocircuito. Están equipados con sensores y equipamiento electrónico especialmente diseñado para aislar automáticamente las faltas, proteger las líneas y restablecer el servicio si la falta se ha despejado. Dado que muchos de los cortocircuitos que se producen en la red de media tensión tienen carácter transitorio.

Los reclosers son un equipamiento fundamental para mejorar la continuidad y la calidad del servicio en redes eléctricas en todo el mundo. Mediante el uso de estos restauradores se puede conocer con precisión el estado de las líneas y sus parámetros, como cargas (A, W, VAR), tensiones (V) o frecuencia (f), por lo que permiten monitorizar el estado de la línea, analizar las faltas, la evolución de las mismas y mejorar en definitiva la eficiencia operativa en redes de media tensión.

Su aplicación, en combinación con seccionadores en carga y otro equipamiento de maniobra, permite mejorar las capacidades operativas y la eficiencia operativa de las redes de distribución (TIEPI / NIEPI). Así mismo contribuyen a contener los costes asociados al mantenimiento y a la respuesta ante incidencias, gracias a la visibilidad que aportan sobre el estado de la red y a la capacidad de respuesta que ofrecen. [20]

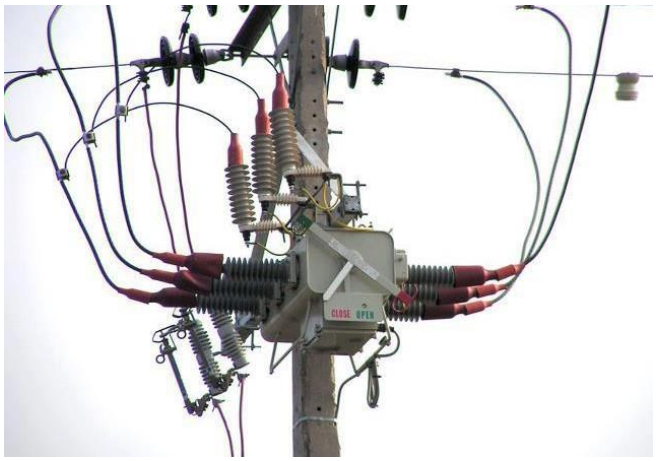


Fig. 2.4.10 *Seccionador para la media tensión*

3. Desarrollo

3.1.Estudio de los diagramas.

Para poder dar inicio a la actualización del libro de operación y de interoperabilidad que se maneja en el área urbana, zona Tuxtla se hizo necesario el estudio de los diagramas que la CFE distribución maneja, tanto el diagrama de Switcheo como el diagrama unifilar, los cuales son de mucha importancia tanto para la planeación de las maniobras a ejecutar así como para el pronto restablecimiento en caso de alguna falla franca que se presente en alguno de los circuitos.

Diagrama de Switcheo: Es una representación gráfica de todos los circuitos que distribuyen la energía eléctrica a la ciudad con una tensión de 13 200 V, dicho diagrama fue realizado en el programa de dibujo por computadora llamado AutoCAD, en dicho diagrama también se representan gráficamente los equipos de protección y seccionamiento que se utilizan en redes de distribución, así como también el tramo troncal y los ramales de cada circuito.

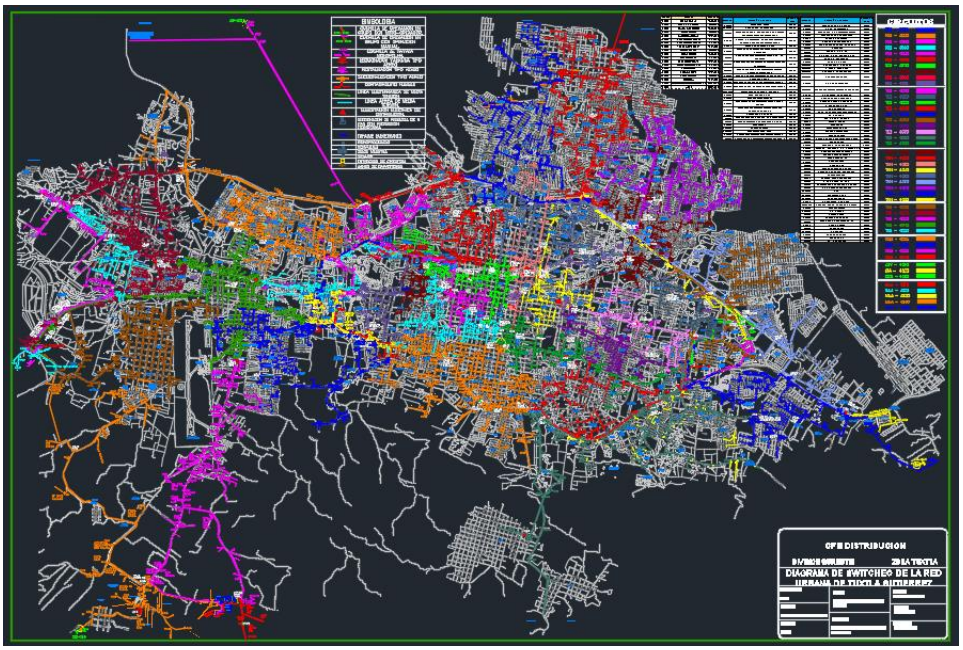


Fig. 3.1 *Diagrama de Switcheo del área urbana, zona Tuxtla*

En la figura ***3.1*** se puede apreciar la representación gráfica de la cuidad así como también los circuitos que distribuyen la energía eléctrica en media tensión (13.2 KV), cada circuito tiene un color diferente para que sea distinguido referente a los demás circuitos. En toda la cuidad hay en total 6 subestaciones, las cuales son alimentadas con una tensión de 115 KV. Y 42 circuitos distribuidos por toda la cuidad.

La actualización solo comprenderá tres de las seis que se encuentran en la cuidad, dichas subestaciones son: Real del Bosque (RDB), Mactumatza (MAA) y Tuxtla Sur (TXS), las cuales alimentan principalmente a la zona sur, oeste y suroeste de la cuidad. Analizando el diagrama se llegó a la conclusión de que no se encuentran plasmados todo lo que es necesario para que el diagrama sea lo suficientemente confiable.

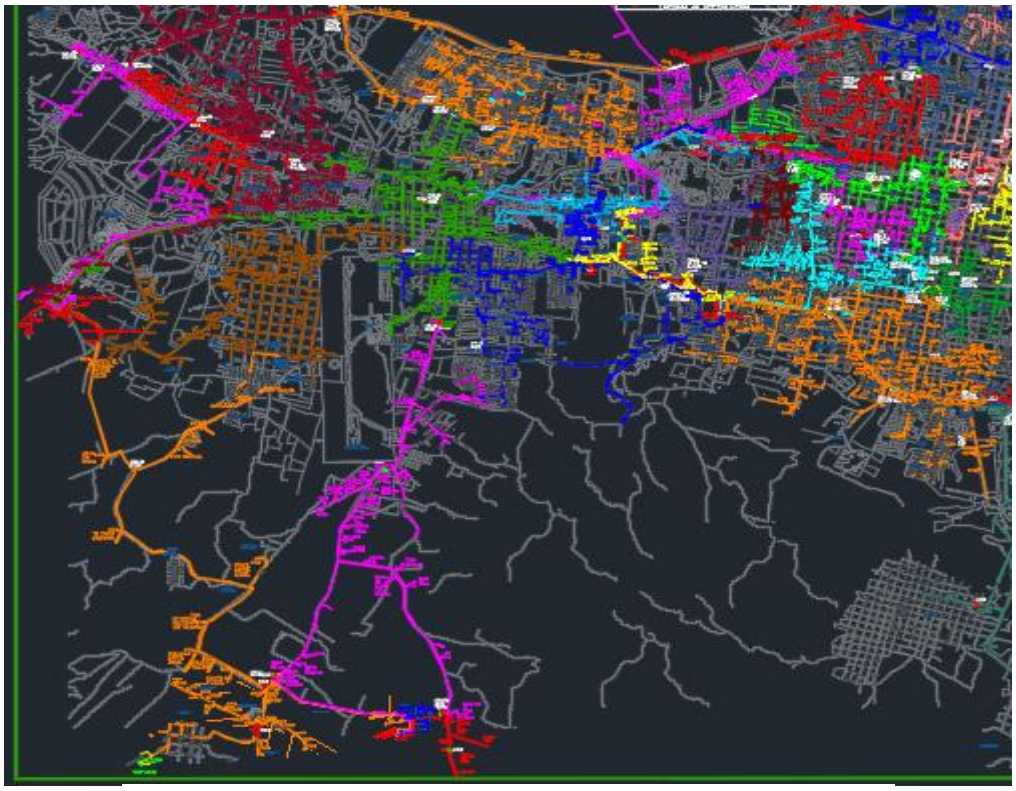


Fig. 3.2 *Zona donde principalmente se realizará el recorrido*

Diagrama unifilar: Es la representación gráfica de las partes más importantes que se encuentran en un circuito, tales como la parte troncal, ramales y sub-ramales, equipos de protección y seccionamiento, así como también las transiciones. El diagrama unifilar se encuentra en la plataforma que maneja la CFE distribución llamada SIAD (Sistema Integral Administración Distribución).

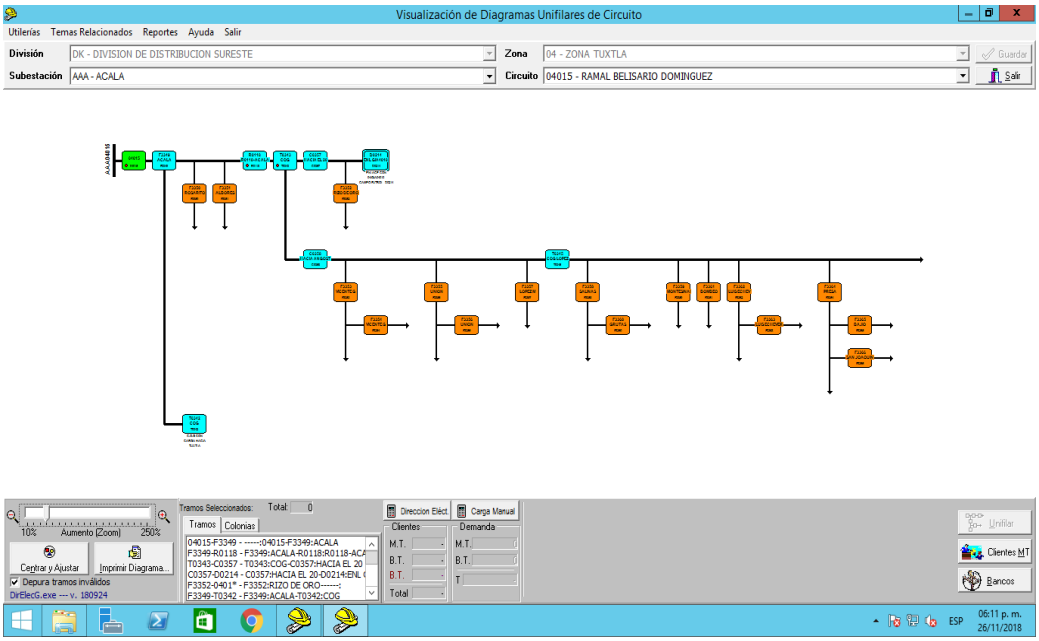


Fig. 3.3 *Diagrama unifilar del CTO: AAA-04015*

En la figura ***3.3.*** Se puede ver el diagrama unifilar del CTO AAA-04015 (dicho circuito solo se tomó como una representación), en ella podemos ver como se representa de manera gráfica todos los elementos que componen un circuito. Las líneas más gruesas representan todo el tramo troncal mientras que las líneas más delgadas representan los ramales y sub-ramales.

El icono verde hace referencia a la salida desde la subestación del circuito, los iconos azules son aquellos que representan los equipos de protección y seccionamiento que se encuentran en todo el tramo, tales equipos pueden ser las cuchillas de operación en grupo con o sin carga (COG, COGC), restauradores y/o seccionadores controlados remotamente, por último se tienen los iconos de color naranja los cuales representan los ramales, sub-ramales o transiciones del circuito.

Del diagrama unifilar se pueden obtener los siguientes datos de cada circuito:

Zona	subt.	clave	nombre	tensión	km	usuarios
TXT	RDB	04015	FRIGORIFICO EMILIANO ZAPATA	13KV	48.9	5460
TXT	RDB	04025	REAL DEL BOSQUE SUBTERRANEO	13KV	1.88	5320
TXT	RDB	04035	CHIAPLAST-FRACC. BONAZA	13KV	13.37	6129
TXT	RDB	04045	VALLE VERDE-SUCHIAPA	13KV	48.54	7792
TXT	MAA	04010	TORRES LUXURY SUBTERRANEO	13KV	2.17	85
TXT	MAA	04020	9ª SUR-CENTRO PTE SUR	13KV	6.04	6161
TXT	MAA	04030	UVM-HOTEL HILTON	13KV	3.97	4430
TXT	MAA	04040	LIB SUR-CALLE CENTRAL	13KV	19.57	6833
TXT	MAA	04050	5ª SUR TERAN-LA RELIQUIA-YARDINO	13KV	16.41	6200
TXT	TXS	04010	SAN JOSE TERAN	13KV	19.5	8451
TXT	TXS	04020	FRACC. CAMPANARIO	13KV	37.05	7087
TXT	TXS	04030	PLAN DE AYALA	13KV	200.82	9917
TXT	TXS	04040	TERAN	13KV	37.62	6682
TXT	TXS	04050	SAN VICENTE	13KV	3.62	4771

Tabla. 3.1 *Especificaciones de cada circuito*

3.1.1. Comparación de diagramas.

Una vez estudiado los dos diagramas se procede a realizar la comparación de dichos diagramas ya que, tanto lo que esté representado en el diagrama de Switcheo también se debe de ver reflejado en el diagrama unifilar, y viceversa. Al compararlos se llegó a la conclusión de que los dos diagramas no son muy confiables, debido a que no coinciden al 100%, se encontraron tramos y equipos que se encuentran representados en uno de los diagramas pero en el otro no.

Ambos diagramas deben de tener representados los mismos equipos debido a que para realizar una planeación de una maniobra a ejecutar, se hace necesario el uso del diagrama de Switcheo, para referenciar en qué punto del circuito se va a trabajar y de qué manera proceder, mientras que en el diagrama unifilar se identifica el número de interoperabilidad del equipo que se afectara y conocer la cifra exacta de usuarios que serán afectados por la realización de la maniobra.

3.2.Recorrido de circuitos.

Habiendo estudiado los diagramas se procede a realizar el levantamiento de los circuitos en media tensión, el recorrido se realiza de manera presencial, comenzando desde la salida de la subestación (por lo regular, todos los circuitos en su salida se protege con cuchillas de operación en grupo con carga), siguiendo la parte troncal y sus derivaciones (ramales y sub-ramales).

Se optó que el recorrido se realizara de manera presencial debido a que es el método más confiable para hacer el levantamiento de los circuitos. Otro método que se podía implementar es el de utilizar la aplicación de Google Maps, pero no se recurrió a este método debido a que dicha plataforma nos proporciona dados del año 2015, lo cual no la hace confiable para la realización del levantamiento.

Todos los circuitos aéreos, para su recorrido no se necesitaron del apoyo de algún trabador de la empresa por motivo de que son fáciles de identificar y sus trayectorias son relativamente fácil de seguir. Los circuitos subterráneos son recorridos en compañía de la cuadrilla que les de mantenimiento, ya que al ser subterráneos, estos no son visibles por lo tanto no se tiene una referencia exacta de la trayectoria que estos tienen.

El recorrido se realizó con la ayuda de la aplicación Geo Tracker, la cual es una aplicación con la que nosotros podemos guardar la trayectoria que se está recorriendo en tiempo real. Para la georreferenciación de toda la trayectoria la App utiliza Google Maps y sobre el mapa se dibuja la trayectoria. Si se quiere guardar algún punto clave, la App nos permite realizar dicha tarea, la ventaja de la aplicación es que todos los puntos que se guardan quedan georreferenciados con coordenadas.

En la figura ***3.4*** se puede apreciar el recorrido completado del circuito TXS-04010 el cual es el mejor estructurado que se pueden encontrar de la subestación Tuxtla Sur. Se comenzó desde la salida del circuito y se siguió todo el tramo troncal, en donde se encontraba ramales, se dejaba de recorrer el tramo troncal y se proseguía con los ramales, terminando el ramal se regresaba al tramo troncal desde donde se dejó para seguir con el recorrido.

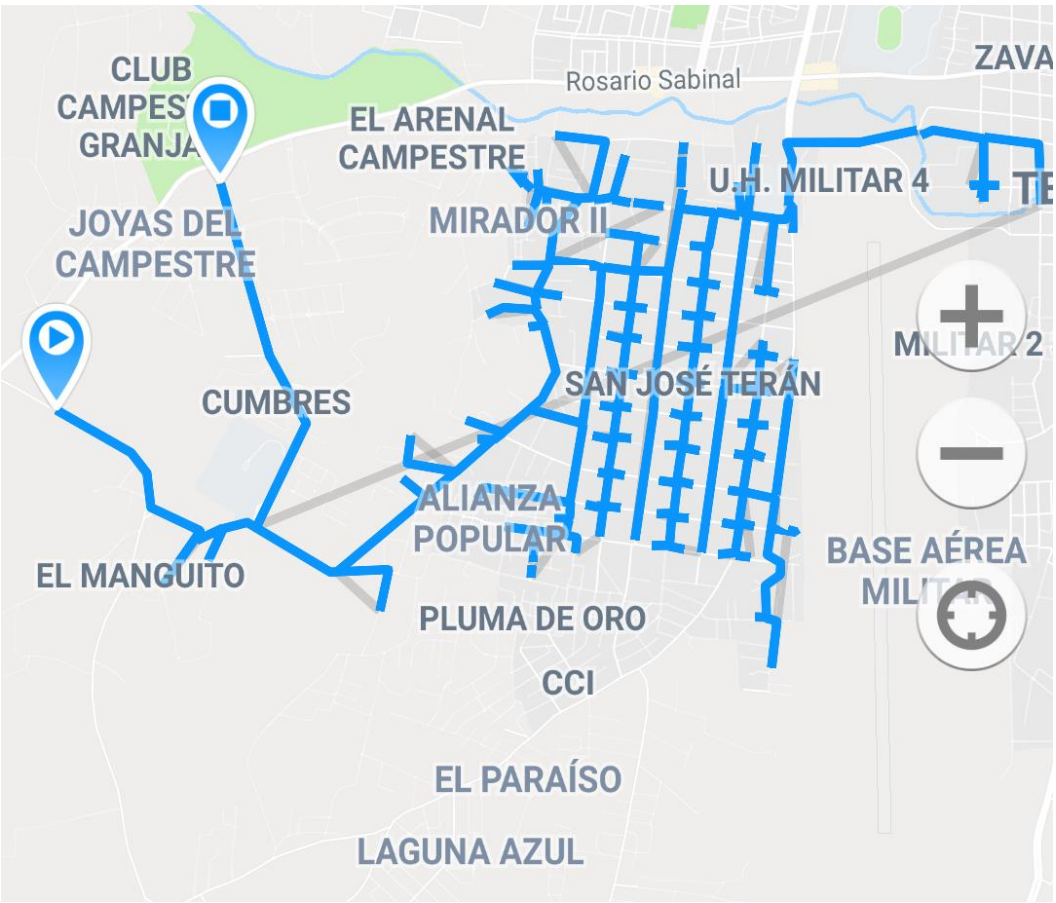


Fig. 3.4 *Recorrido del CTO TXS-04010*

El recorrido comprende todo el tramo troncal, ramales y sub-ramales incluyendo los nuevos tramos que aún no han sido referenciados en el diagrama de Switcheo y el unifilar, todo con el fin de que se encuentre evidencia de que el recorrido se ha hecho con una efectividad del 100%. En los lugares tales como zonas residenciales y fraccionamientos no se pude realizar el levantamiento por motivo de que son propiedades privadas y no dan acceso.

Los tramos (ramales) que no se pueden referenciar por estar en propiedad privada no son de tanta importancia tenerlos en los diagramas que la CFE maneja, debido a que dichos ramales les da mantenimiento el dueño del terreno, o ya si es el caso el dueño hace la gestión para que la CFE distribución realice el mantenimiento adecuado con un importe de acuerdo a la magnitud del trabajo a realizar.

En la figura ***3.5*** se puede observar el recorrido del circuito TXS-04010 con sus respectivas especificaciones, cada uno de los puntos que se representan ahí de color azul son todos aquellos ramales y sub-ramales que se encontraron, así como también los equipos de protección y seccionamiento (restauradores, seccionadores y cuchillas de operación en grupo con o sin carga), transiciones y transformadores.

La georreferenciación de los transformadores no es de mucha importancia debido a que en los diagramas no son representados, por motivo a que los transformadores van acorde al número de usuarios que el circuito suministra la energía eléctrica. Por el mismo motivo

ya no se siguió referenciando todos los transformadores, lo cual facilito y agilizo el recorrido de los circuitos.

Fig. 3.5 *Recorrido del CTO TXS-04010 con especificaciones*

Durante todo el recorrido se hizo necesario la utilización del diagrama de Switcho debido a que hay sectores donde el mismo circuito se cruzan (sin llegar a tocarse) y puede generar confusión al momento de estar realizando el levantamiento, también se utilizó para identificar de manera más fácil cuales ramales son los que no se encuentran en dicho diagrama, así como las transiciones y los equipos que se encuentran y los que no se encuentran.

Al efectuar el recorrido se encontró que algunos datos y/o especificaciones no se encuentran en el diagrama de Switcheo o están plasmados erróneamente, como por ejemplo, el número de interoperabilidad de algún equipo no concuerda tanto de manera física como en el diagrama unifilar y el de Switcheo, o que en el diagrama especifica que el equipo instalado son cuchillas de operación en grupo y en campo no se encuentra un equipo diferente.

3.3.Actualización de los diagramas.

Al terminar el recorrido de los circuitos de las subestaciones Real del Bosque, Mactumatza y Tuxtla Sur se tienen los elementos suficientes para poder realizar la

actualización de los diagramas. Cabe resaltar que los diagramas deben de representar de manera fidedigna todo lo que en campo se encuentra instalado y al mismo tiempo los diagramas deben de ser prácticamente iguales.

3.3.1. Actualización del diagrama de Switcheo.

El diagrama de Switcheo es con el que se planean las maniobras a realizan en campo, por lo mismo es necesario tenerlo actualizado, ya que si en dado caso se quiere planear alguna maniobra en un punto determinado y esa ubicación no se encuentra en el diagrama, lo que procede es anular el trabajo, trayendo consigo que la cuadrilla que realizaría el trabajo tendrá un día improductivo, lo cual no es beneficioso para los trabajadores y para la empresa.

Retomando como ejemplo el circuito TXS-04010. Se procede a plasmar todos los ramales, transiciones y equipos nuevos que se encontraron durante el recorrido. Tomando en cuenta el orden en que se realizó el recorrido, para llevar una secuencia coherente, se debe de respetar dicha secuencia ya que todos los equipos tienen una nomenclatura la cual es conveniente llevarla en un orden, para tener un diagrama estructurado.

En la tabla siguiente se representa la simbología y nomenclatura utilizada en el diagrama de Switcheo.

NOMBRE	SIMBOLOGIA	NOMENCLATURA (INTEROPEREBILIDAD)
Cuchillas de operación en grupo (COG, COGC)		T0000
Cuchillas de navaja monopolares		C0000
Seccionador Yaskawa tipo aéreo	S	S0000
Restaurador tipo aéreo	R	R0000
Fusibles		F0000
Líneas subterráneas		
Líneas aéreas		
Subestación eléctrica		Depende que subestación sea
Banco de capacitores		F0000

Tabla. 3.3 *Especificaciones de los equipos instalados*

Es importante respetar la nomenclatura ya establecida por la CFE debido a que con esta mismo se ha estado trabajando desde que la empresa inicio, solamente se han realizado modificaciones de la simbología y de la nomenclatura cuando se es necesario, todo siempre y cuando se halla analizado profundamente y llegado a un acuerdo general por todos los trabajadores.

En las siguientes dos imágenes se puede observar la comparación del circuito TXS-04010, el antes y después de la actualización:

Fig. 3.6 *Diagrama actual del CTO: TXS-4010*

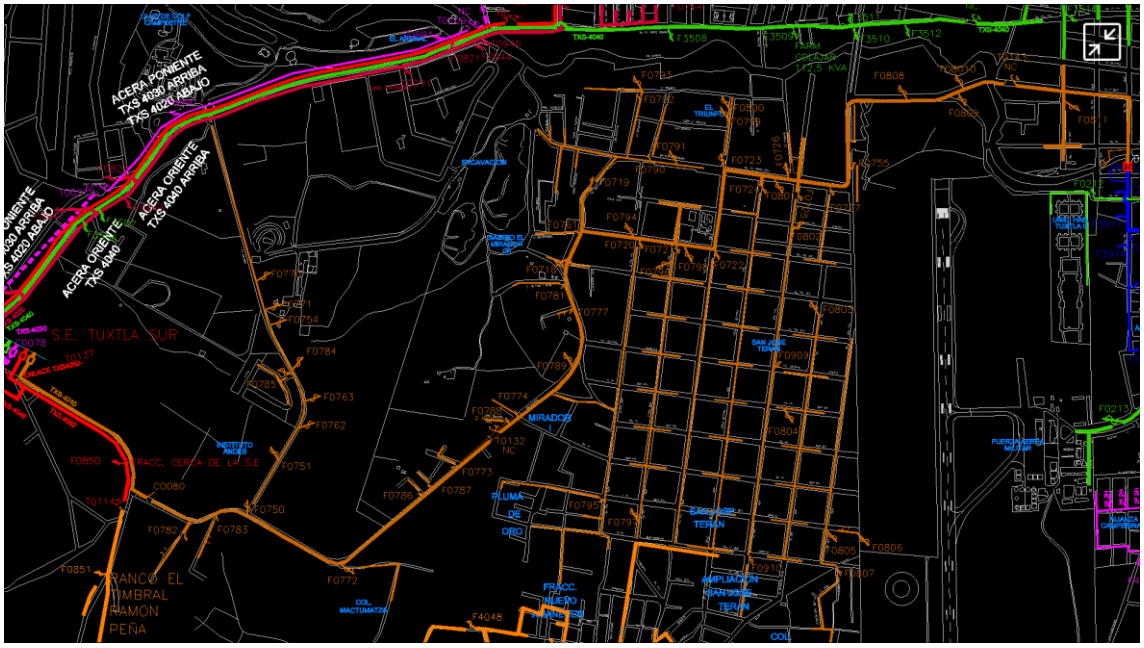


Fig. 3.6 *Diagrama actualizado del CTO: TXS-4010*

Como se puede observar en la figura ***3.6***, lo que más se encontró son transiciones y/o ramales a propiedades privadas, centros comerciales, fraccionamientos, hoteles, tiendas de prestigio y demás lugares en los cuales se tiene una demanda mayor a la que se necesita

en una casa habitación, todas estas transiciones estas seccionados por cortacircuitos fusibles, los cuales tienen como nomenclatura F0000.

En este caso en particular se actualizaron 18 nuevos ramales los cuales se pueden identificar si se comparan las dos imágenes anteriores, los ramales también se encuentran seccionado con cortacircuitos fusible. Los ramales tienen una particularidad de que pueden ser trifásicos, bifásicos o monofásicos, todo dependerá de la demanda que la usuaria necesita.

Todos los circuitos de las tres subestaciones se actualizaron siguiendo los mismos pasos que se utilizaron para actualizar el CTO: TXS-04010. En todos los recorridos se encontraron en mayor cantidad transiciones que ramales nuevos. Por lo regular todo el tamo troncal de los circuitos no sufrió modificaciones. El circuito que se le encontró más transiciones es el MAA-04040.

Para el recorrido de los circuitos subterráneos se necesitó el apoyo de la cuadrilla que se encarga del mantenimiento de estos circuitos. Los circuitos subterráneos son: RDB-04025, RDB-04045, parte del RDB-04015, RDB-04035 y del MAA-04010, se necesitó el apoyo de esta cuadrilla debido a que es la única que sabe con exactitud la distribución de estos circuitos.

El CTO: MAA-04010 no ha sufrido ninguna modificación por lo cual tanto en el diagrama de Switcheo y unifilar no se tuvo que modificar nada. Mientras que los demás circuitos subterráneos si han sufrido modificaciones considerables, por lo cual es de suma importancia tenerlo plasmado en los diagramas. En las dos siguientes imágenes se puede observar los circuitos subterráneos (antes y después de la actualización).

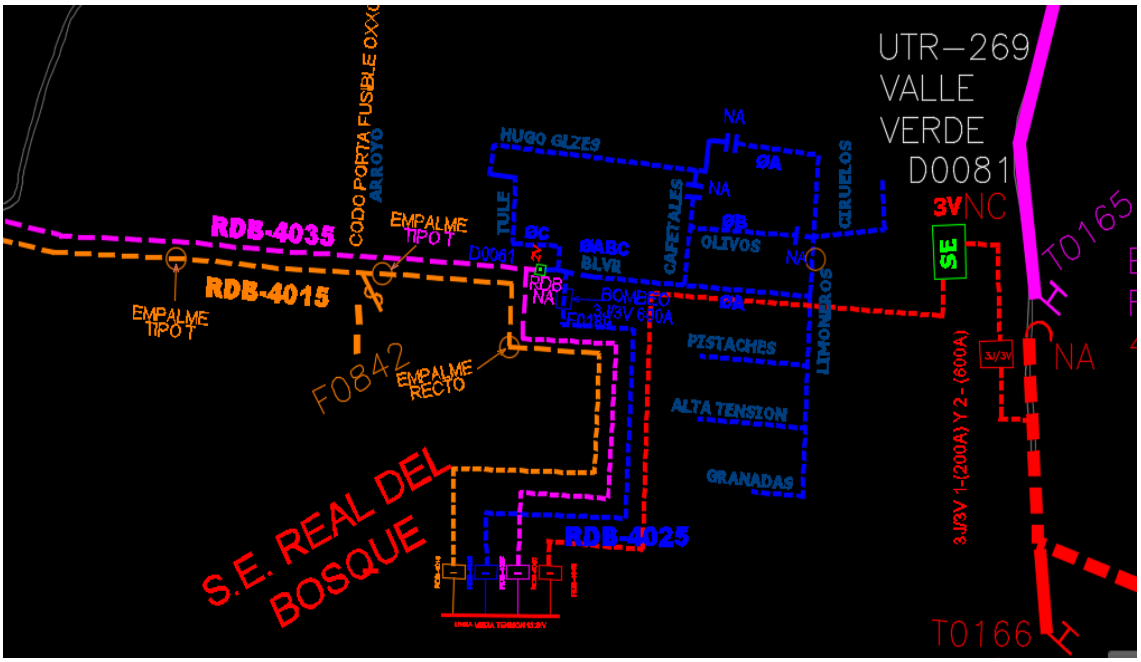


Fig. 3.7 *Circuitos subterráneos de la sub- RDB sin actualizar*

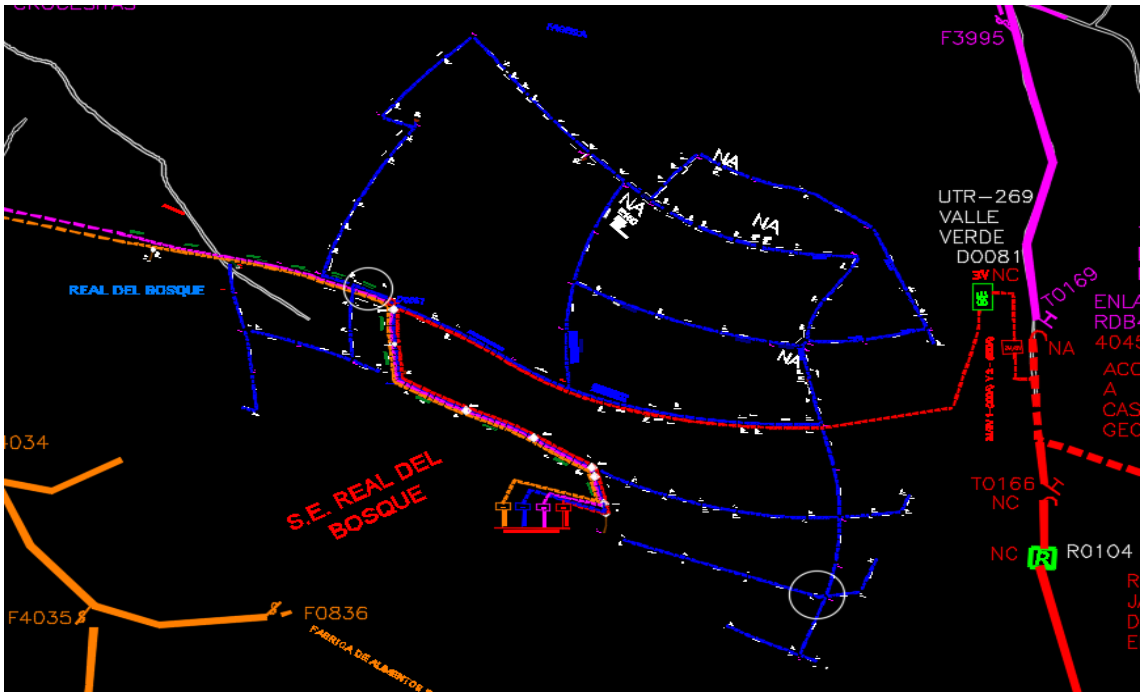


Fig. 3.8 *Circuitos subterráneos de la sub- RDB actualizados*

Como se puede ver en la imagen ***3.8,*** al realizar la actualización y las modificaciones correspondientes se tienen un diagrama mejor estructurado, en el cual están representado todos los equipos que se encuentran instalados, una georreferenciación más confiable y con una distribución exactamente igual a la que se encuentra en campo. Cabe mencionar que la actualización del diagrama se realizó en coordinación con la cuadrilla antes mencionada.

3.3.2. Actualización del diagrama unifilar.

Una vez actualizado el diagrama de Switcheo se procede a modificar el diagrama unifilar, el cual se debe de modificar con mucha delicadeza ya que en este se manejan otros datos los cuales son de suma importancia para la empresa y los cuales no se deben de alterar su valor.

La plataforma utilizada para la creación de los diagramas es muy versátil ya que permite al usuario manipular el diagrama a como más le convenga, lo cual facilita la actualización debido a que no se van a crear nuevos diagramas. Solo se van a modificar los que ya se tienen. Para ejemplificar la actualización se tomara como ejemplo el circuito TXS-04020, el cual sufrió una mejora considerable.

El diagrama simboliza la red de media tensión con líneas negras, las más remarcadas simbolizo el tramo troncal y las más delgadas son para los ramales y sub-ramales, los bloques son los que representan todos los equipos de protección y seccionamiento que están instalados en el circuito, los bloques de color azul representan los restauradores, seccionadores y cuchillas de operación en grupo, y los bloques de color naranja representan los cortacircuitos fusibles, utilizados para las transiciones y ramales.

Los bloques son los que se pueden modificar para representar lo que se necesita. Es importante tener en cuenta de que se debe de llevar la misma estructura que en el diagrama

de Switcheo. En la siguiente imagen se puede visualizar las opciones que se tienen al momento de colocar el cursor en el bloque:

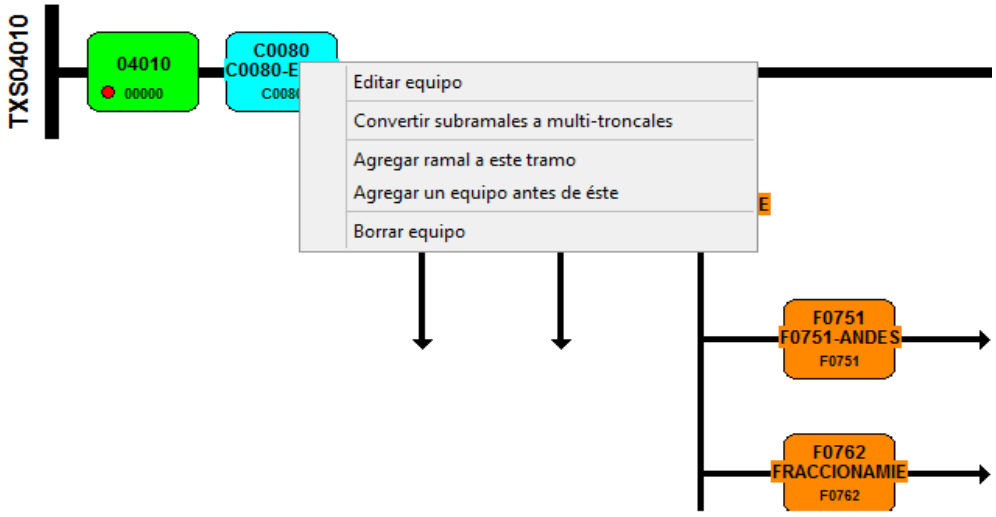


Fig. 3.9 *Opciones de un bloque*

En la figura ***3.9*** se puede visualizar las opciones que da el sistema el momento de posicionar el cursor sobre cualquier bloque. La opción de *convertir subramales a multi-troncales* nos ayuda a que al equipo seleccionado se le puedan agregar bloques debajo de él, siendo aún, tramo troncal, todos los equipos que se encuentren al lado derecho de este serán jalados por el mismo.

La opción de *agregar ramal a este tramo* nos ayuda a insertar un bloque al lado derecho del que se haya seleccionado, estos bloques que se agregan son considerados como ramales o transiciones. Los equipos que se agregan con esta opción siempre van a ser de color naranja. A los bloques que se agreguen se les puede agregar a ellos otros bloques para representar sub-ramales o transiciones. Todo depende de la configuración del circuito.

La opción de *agregar un equipo antes de este* nos ayuda a colocar un bloque antes del que se ha seleccionado, esta opción se utiliza principalmente para representar los equipos de protección y seccionamiento. La opción solo se puede utilizar en el tramo troncal, debido a que en la parte troncalizada se encuentran los equipos más sofisticados y es la parte más importante que se debe de proteger, los ramales son protegidos con los cortacircuitos fusibles.

La opción de *editar equipo* sin duda alguna es la más utilizada, ya que con ella se pueden modificar los parámetros que manejan los bloques, en ella se puede modificar el nombre que se le da al bloque, la dirección de donde se encuentra instalado el equipo, el número de usuarios que tiene instalado dicho tramo así como la demanda que se le está exigiendo a esa parte del circuito.

En la siguiente imagen se ve más a detalle la opción de *editar equipo*:

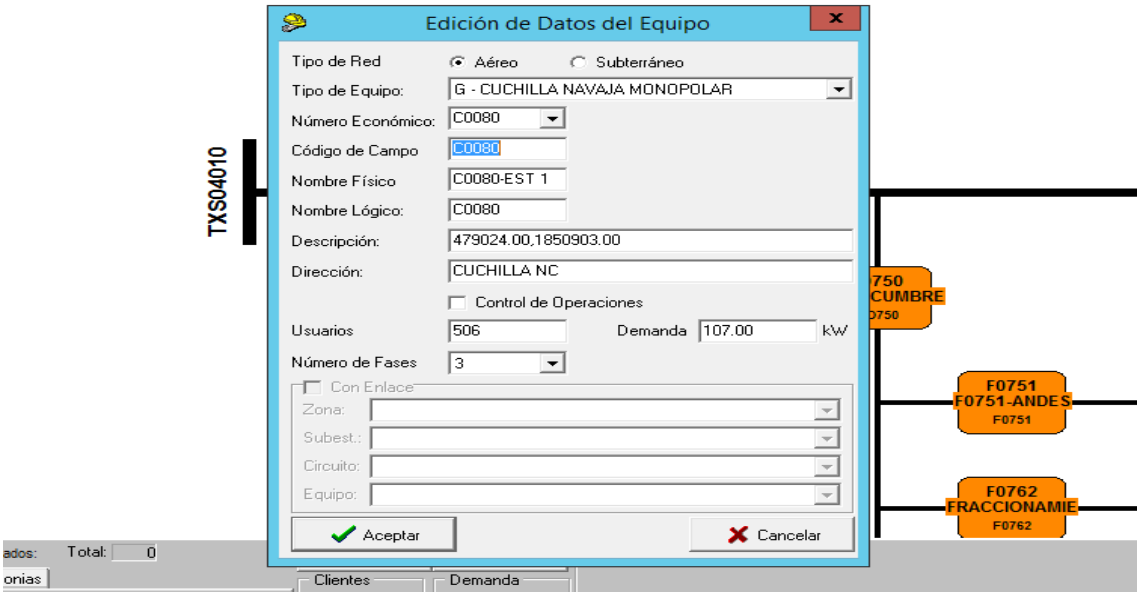


Fig. 3.10 *Edición de datos del equipo*

Teniendo en cuenta todo lo anterior se procede a modificar el diagrama unifilar. La modificación de los circuitos se lleva bastante tiempo debido a que la estructura de be de ser la correcta, incluyendo los parámetros que a este se le agreguen, en especial, se debe de tener mucho cuidado al manipular el número de usuarios y la demanda, debido a que estos dos parámetros ya se encurtan considerados pero no distribuidos correctamente por todo el circuito.

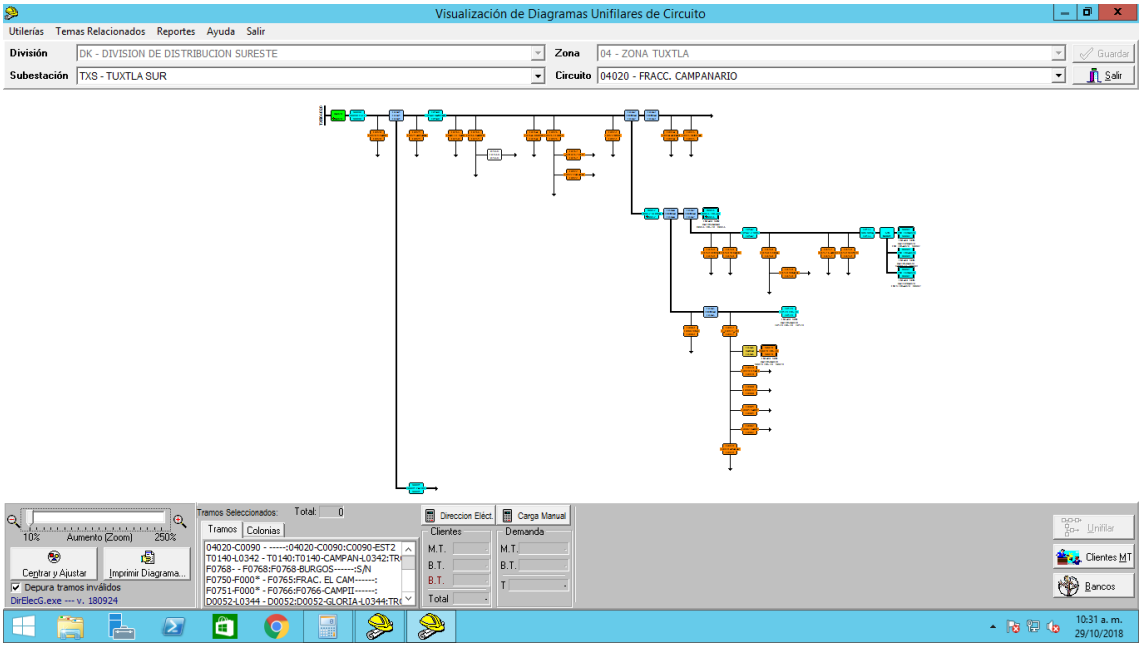


Fig. 3.11 *Diagrama unifilar actual del CTO: TXS-04020*

La figura ***3.11*** muestra el diagrama unifilar del circuito TXS-04020, el cual es uno de los circuitos más desactualizados que se encontraron, para comenzar se le da clic en el bloque verde, al seleccionarlo automáticamente se selecciona todo el circuito. Posteriormente le damos clic en la opción de *carga manual*, con ello el programa nos arroja el total de usuarios y la demanda que se tienen en el circuito. Estos dos datos son los que se deben de mantener.

Sobre el mismo diagrama se procede a insertar todos los equipos nuevos que con anterioridad, ya han sido plasmados en el diagrama de Switcheo. La nomenclatura de cada equipo debe de ser la misma en ambos diagramas. Cabe resaltar que en el diagrama unifilar no se puede duplicar una nomenclatura, si esto ocurre, el sistema no da la opción de guardar los cambios.

Un caso muy espacial son los enlaces, en ellos si se pueden duplicar las nomenclaturas, para que esta opción de desbloquee, en la pestaña de *editar bloque* se debe de palomear la opción que dice *con enlace* (ver ***fig. 3.10***), otra condición que se debe de respetar es que el bloque seleccionado no debe de tener equipos instalados al lado derecho de este, para que el sistema lo identifique como un posible equipo de enlace con otro circuito.

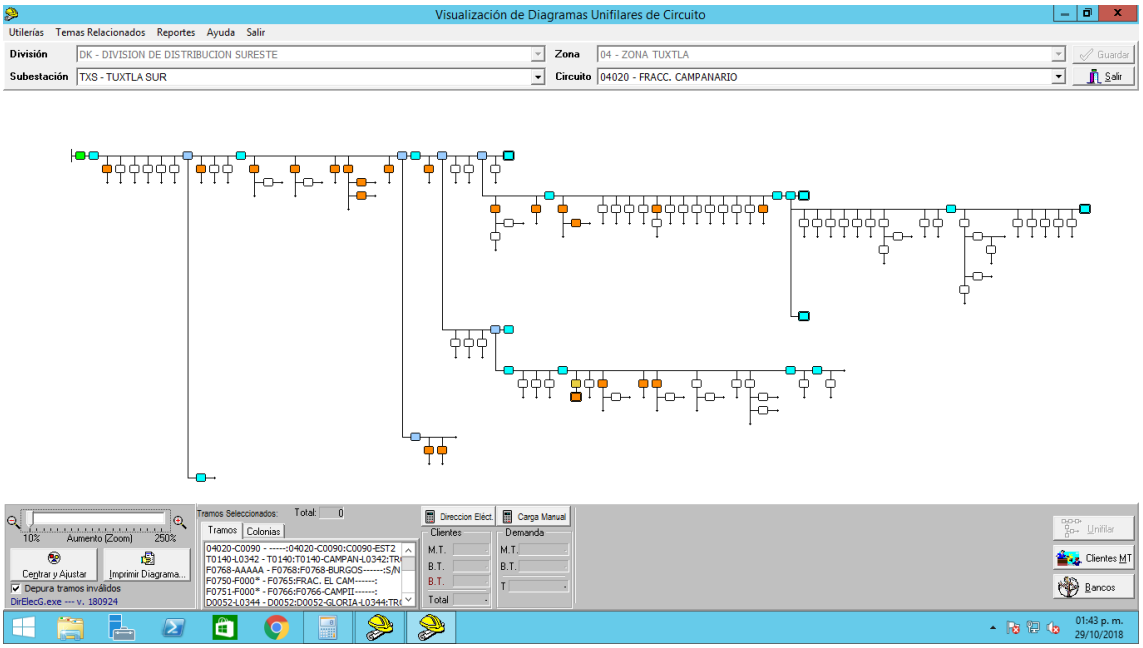


Fig. 3.12 *Diagrama unifilar del CTO: TXS-04020 con los nuevos bloques*

En la figura anterior se visualiza el diagrama con los nuevos bloques, todos estos bloques representan las transiciones, ramales y sub-ramales nuevos que se encontraron durante el recorrido. Todos los bloques se encuentran de color blanco debido a que aún no se les ha asignado ningún valor ni nombre. Los dos datos más importantes son la nomenclatura (número de interoperabilidad) y la dirección del equipo.

En la siguiente figura se tiene el diagrama actualizado al 100% del circuito que se tomó como ejemplo, en él ya se encuentra llenados todos los campos necesarios de cada bloque, y con una estructura idéntica a la que se tiene en el diagrama de Switcheo. El diagrama es mucho más confiable ahora.

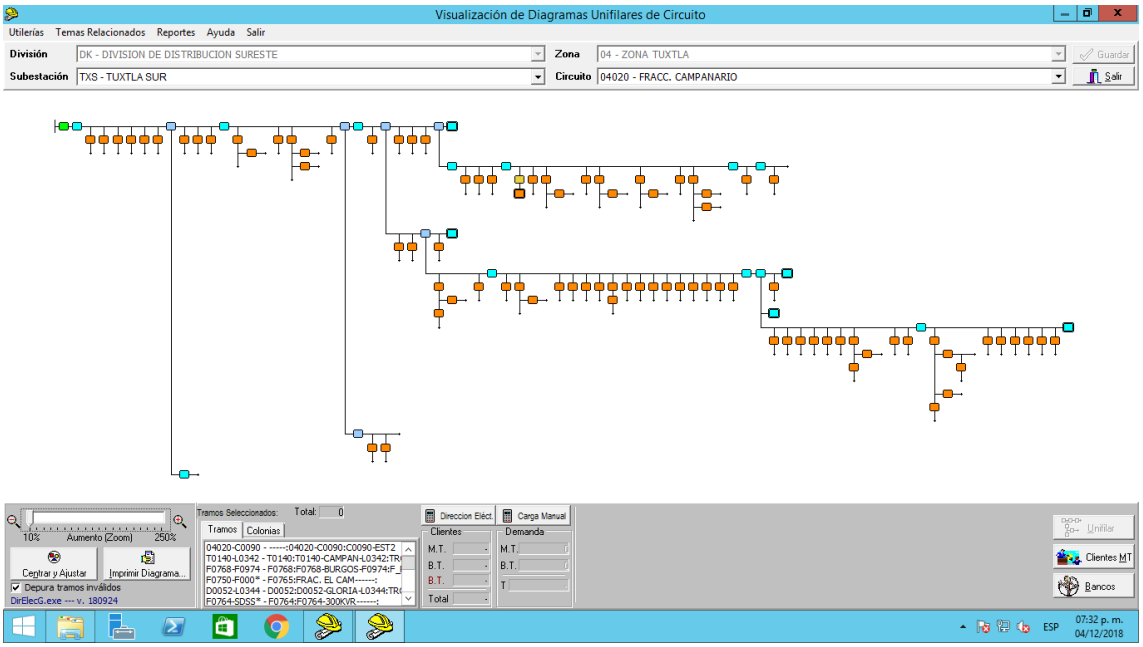


Fig. 3.12 *Diagrama unifilar del CTO: TXS-04020 actualizado*

De la misma manera se realizó la actualización de los diagramas unifilares de los demás circuitos.

La actualización tanto del diagrama unifilar como el de Swicheo fue de la siguiente manera:

- Subestación TXS:
    1. CTO: TXS-04010
    2. CTO: TXS-04020
    3. CTO: TXS-04030
    4. CTO: TXS-04040
    5. CTO: TXS-04052

- Subestación MAA:
    1. CTO: MAA-04010
    2. CTO: MAA-04020
    3. CTO: MAA-04030
    4. CTO: MAA-04040
    5. CTO: MAA-04050

- Subestación RDB:
    1. CTO: RDB-04015
    2. CTO: RDB-04025
    3. CTO: RDB-04035
    4. CTO: RDB-04045

4. Resultados y conclusiones

4.1. Resultados.

Los resultados de la actualización se ven reflejados principalmente en los nuevos bloques que se agregaron en los diagramas. En las siguientes imágenes se puede observar el antes y después de la actualización de algunos circuitos, tomando como ejemplo los circuitos que más modificaciones sufrieron.

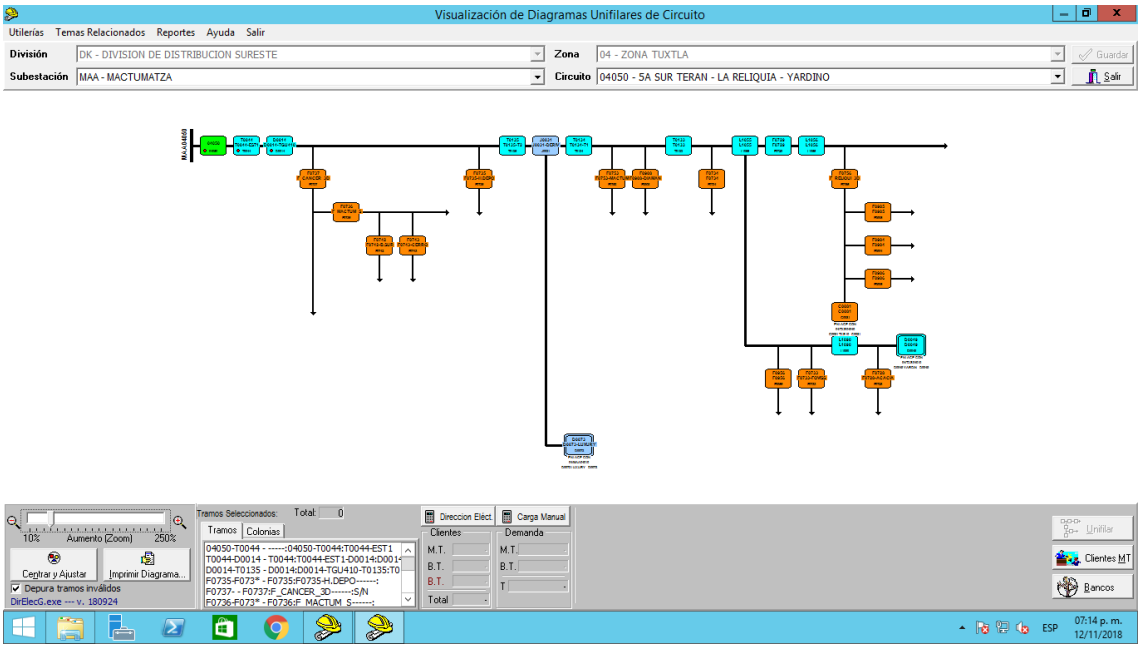


Fig. 4.1 *Diagrama unifilar del CTO: MAA-04050 sin actualizar*

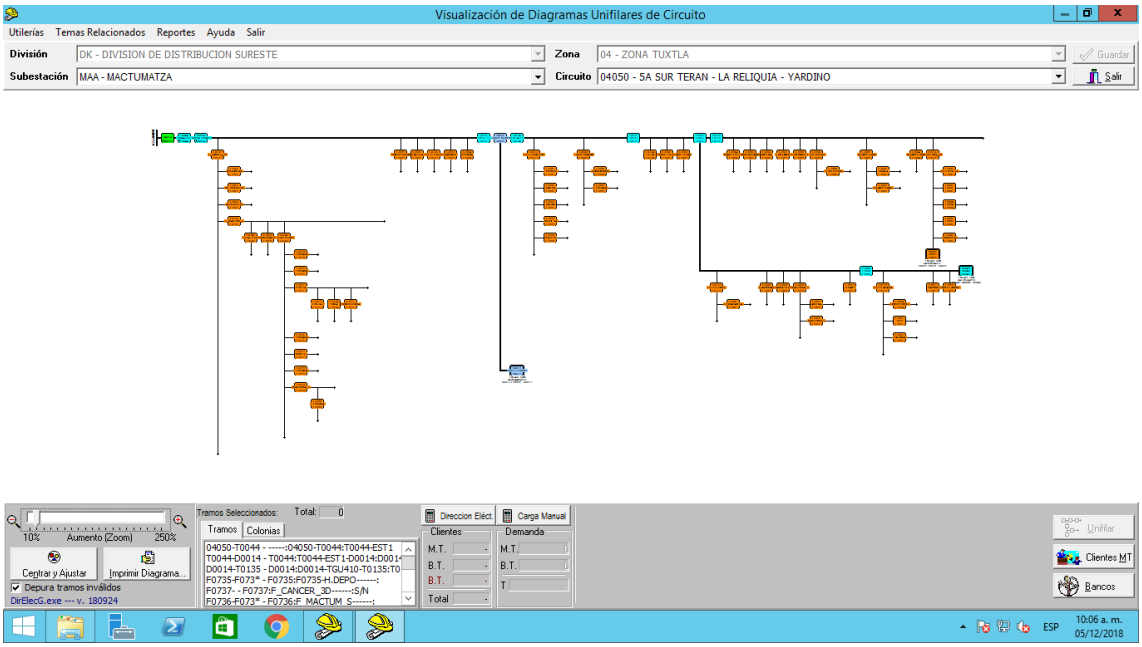


Fig. 4.2 *Diagrama unifilar del CTO: MAA-04050 actualizado*

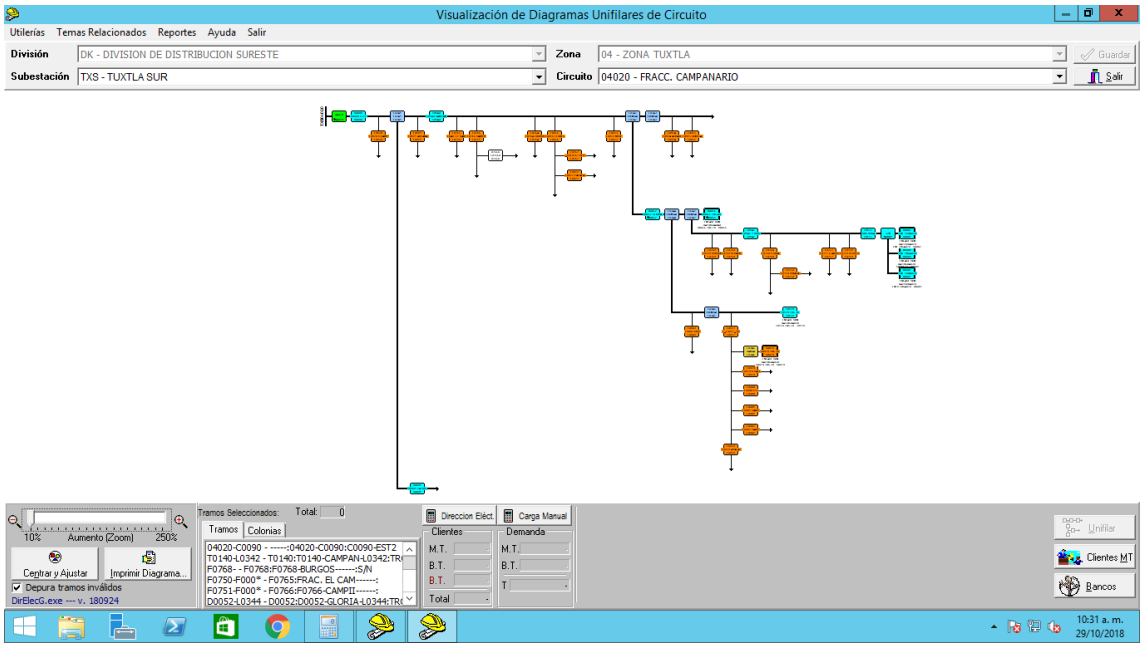


Fig. 4.3 *Diagrama unifilar del CTO: TXS-04020 sin actualizar*

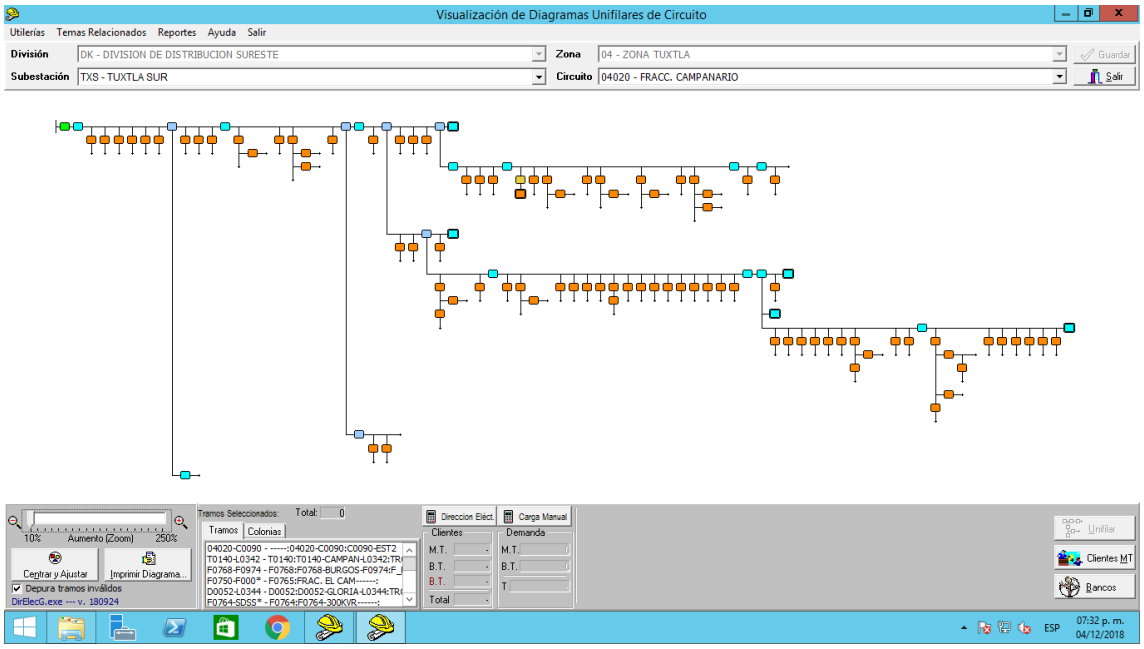


Fig. 4.4 *Diagrama unifilar del CTO: TXS-04020 actualizado*

Todos los circuitos sufrieron modificaciones considerables, por lo cual se llega a la conclusión de que era indispensable y necesario la actualización del libro de protección y de interoperabilidad, ya que entre más actualizado se encuentre, más confiables son los diagramas. Los circuitos subterráneos no se han modificado en nada, simplemente se realizó la correcta estructuración en el diagrama de Swicheo.

En la siguiente tabla se resume toda la actualización de los circuitos, tanto de transiciones como de ramales y sub-ramales nuevos.

SUBESTACION	CIRCUITO	RAMALES NUEVOS	TRAMO (METROS)
TUXTLA SUR	TXS-04010	16	3,614.7
	TXS-04020	9	1,4010.81
	TXS-04030	2	257.49
	TXS-04040	1	47.10
	TXS-04052	4	1,171.08
MACTUMATZA	MAA-04010	*	*
	MAA-04020	3	379.41
	MAA-04030	*	*
	MAA-04040	2	1,239.04
	MAA-04050	7	2,195.88
REAL DEL BOSQUE	RDB-04015	8	3,052.4
	RDB-04025	9	2,684.12
	RDB-04035	*	*
	RDB-04045	*	*

Tabla. 4.1 *Datos de los ramales nuevos y el total de líneas de distribución encontrada*

SUBESTACION	CIRCUITO	TRANSICIONES NUEVAS
TUXTLA SUR	TXS-04010	19
	TXS-04020	49
	TXS-04030	13
	TXS-04040	51
	TXS-04052	17
MACTUMATZA	MAA-04010	*
	MAA-04020	23
	MAA-04030	11
	MAA-04040	69
	MAA-04050	29
REAL DEL BOSQUE	RDB-04015	12
	RDB-04025	24
	RDB-04035	*
	RDB-04045	*

Tabla. 4.2 *Datos de todas las transiciones nuevas encontradas en cada circuito*

4.2. Conclusión.

El recorrido el cual se realizó de manera presencial, fue la mejor opción para hacer el levantamiento de las redes de media tensión debido a que, caminando se podía llegar a lugares donde un carro no puede transitar, el tráfico de la cuidad no fue impedimento para el recorrido, de esta manera se plasmó de manera correcta y exacta la ubicación de las

líneas en los diagramas, así como también en donde comienza y termina cada sección de los circuitos.

El objetivo de la actualización se logró en un 96% debido a que día a día la CFE distribución da nuevo servicio a clientes que los solicitan. Este porcentaje de la actualización es satisfactoria para la empresa ya que lo primordial son los nuevos tramos que se actualizaron (ramales, subramales y partes troncales), debido a que en estos se presentan el 100% de las fallas y las cuales la CFE distribución tiene la obligación de corregir o evitar.

Es importante para la empresa tener actualizado el libro de operación y de la interoperabilidad ya que al ocurrir una falla, sea cual sea el motivo por el cual se generó, dicha falla se tiene que reportar en el sistema que la CFE distribución maneja para llevar un control de cada falla que ocurre diariamente, si esa falla ocurre en un sector del circuito en cuestión que no aparezca en los diagramas, esa falla se tiene que cargar con otro sector en que no se generó la falla, lo cual genera datos erróneos en el sistema.

Con la actualización se asegura que lo anterior mencionado ya no ocurrirá, ahora cada falla será capturada y se proporcionara con los datos correctos (número de interoperabilidad del equipo, lugar de la falla, número de usuarios y demanda). Por eso la importancia de tener actualizado el libro de operación y de la interoperabilidad.

5. Referencia bibliográfica

[1] M. ,. G. L. ,. B. P. ,. &. B. R. Zùñiga, «Sistema Bibliotecario,» 2011. [En línea]. Available: http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12460.

[2] J. D. Ruiz Romero, «DSpace JSPUI,» 2005. [En línea]. Available: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5945.

[3] C. R. N. B. S. M. Cuasmiquer Rosero, «DSpace JSPUI,» 2003. [En línea]. Available: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5836.

[4] R. (. A. C. A. A. Resl, «Repositorio Digital USFQ,» 2012. [En línea]. Available: http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2581.

[5] E. A. L. Ochoa, «S/N,» 2017. [En línea]. Available: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/24780/42131013_2017.pdf?sequence=1.

[6] Bibing, «Bibing,» [En línea]. Available: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F01+Red+de+Distribucion+de+Energia+Electrica.pdf.

[S. R. Castaño, «academia.edu,» Enero 2004. [En línea]. Available:
7 https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38201935/sistema_trifasicotetrra.p
] df?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1541996201&Signature=WVqTP8
XRC29vFgpwVRjrOjVPail%3D&response-content-
disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_trifasicotetrr. [Último acceso: 11
Noviembre 2018].

[A. B. i. Rusiñol, «Electricidad/Electricitat,» blogspot.com, 13 Mayo 2010. [En línea].
8 Available: https://electricidad-viatger.blogspot.com/2010/05/postes-de-alta-y-baja-
] tension-1.html. [Último acceso: 11 Noviembre 2018].

[Viakon, «Viakon,» Enero 2011. [En línea]. Available:
9 http://www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-
] %20Capitulo%204.pdf.

[C. F. d. Electricidad, Contruccion de sistemas subterraneos, mexico, DF: Comision Federal
1 de Electricidad, 2015.
0
]

[D. S. L. C. D. L. R. T. I. J. C. M. G. Dra. Sofia Arellanos Cárdenas, «Apuntes cientificos,» 2012.
1 [En línea]. Available: http://apuntescientificos.org/redes.html.
1
]

[I. R. A. E. y. L. P. d. Mineria, Agosto 2000. [En línea]. Available:
1 file:///C:/Users/wilian%20velazquez/Downloads/decd_2673.pdf. [Último acceso: 19
2 Noviembre 2018].
]

[C. G. Miranda, «twenergy,» 24 06 2015. [En línea]. Available:
1 https://twenergy.com/co/a/que-son-las-subestaciones-electricas-y-para-que-sirven-1759.
3 [Último acceso: 23 10 2018].
]

[entrelineas, «entrelineas,» 28 08 2015. [En línea]. Available:
1 https://entrelineas.ree.es/conoce-mejor/que-es-una-subestacion. [Último acceso: 23 10
4 2018].
]

[b. ventageneradores, «VENTA GENERADORES.NET,» 10 12 2015. [En línea]. Available:
1 http://www.ventageneradores.net/blog/todo-sobre-la-subestacion-electrica/. [Último
5 acceso: 23 10 2018].
]

[Viakon, «Viakon,» [En línea]. Available:
1 http://www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-
6 %20Capitulo%202.pdf.
]

[17] Viakon, Sistema trifasicotetrra, Colombia: Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia, 2004.

[18] EcuRed, «EcuRed,» 24 09 2018. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Aislante_el%C3%A9ctrico. [Último acceso: 23 10 2018].

[19] G. ABELTE, «GRUPO CABELTE WORKING TOGETHER,» svrweb, 2018. [En línea]. Available: http://svrweb.cabelte.pt/es-es/productos_servicios/Cables_de_energia/Desnudos_para_las_lineas_aereas_es. [Último acceso: 6 NOVIEMBRE 2018].

[20] Desconocido, «Sistemas de distribucion».

[21] Impulsora, Soluciones de Media Tension-Restauradores, Impulsora.

[22] R. S. Moises Salazar, «RELSAMEX,» ADWEB, 14 09 2016. [En línea]. Available: http://www.relsamex.com/subestaciones-electricas/. [Último acceso: 23 10 2018].

6. Anexos

Durante el recorrido de los circuitos, la empresa solicito que a todo equipo de protección y seccionamiento, en especial los restauradores, cuchillas de operación en grupo y los seccionadores se le tomara fotos, para que ellos las agreguen en el plano que se tiene en la aplicación de Google Earth, con el propósito de tener una imagen real del equipo, las partes que los conforman y la ubicación de estos.

Aquí se muestran algunas de las fotos que se tomaron a los equipos:

Fig. 4.5 *Restaurador normalmente cerrado del CTO: TXS-04030, ubicado en la entrada de la cuidad, la*

Fig. 4.6 *Seccionador tipo Yaskawa normalmente abierto de enlace CTO: TXS-04020 y CTO: TXS-04030*

Fig. 4.7 *Cuchillas de operación en grupo con carga normalmente abiertas de enlace CTO: TXS-04040 y CTO:*

Fig. 4.8 *Salida del circuito RDB-04015 con cuchillas de operación en grupo con carga normalmente cerradas*

Se participó en la supervisión de algunas maniobras, las cuales consistían en la modificación de la parte troncal de un circuito en particular, principalmente en la instalación de nuevas cuchillas de operación en grupo. En la figura **4.9** se observa la maniobra de la instalación de cuchillas de operación en grupo normalmente abiertas que servirán de enlace entre en circuito RDB-04035 y RDB-04045.

Fig. 4.9 *Instalación de COGC NA de enlace RDB-04035 y RDB-04045*

Se superviso la maniobra que consistía en modificar la parte troncal del circuito TXN-04050, 60 metros del circuito se hizo subterráneo, debido a que en esa sección del circuito se construyó un puente peatonal, y para evitar riesgos de accidentes con las líneas se optó por convertir esa parte del circuito de aéreo a subterráneo, lo que llevo consigo la instalación de dos nuevas cuchillas de operación en grupo, una se instaló en la transición aéreo- subterráneo del circuito y la otra se instala en la transición subterráneo-aéreo del circuito.

Fig. 4.10 *Instalación de COGC en la transición subterráneo- aéreo del circuito TXN-04050*