



BUAP

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**“OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA ELÉCTRICA DE
UNASUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN“**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

PRESENTA:

MAURO ALBERTO AGUILAR ROMERO

ASESOR:

Dr. FILIBERTO CANDIA GARCÍA

PUEBLA, PUE.

Julio 2017



BUAP

Oficio N° D. S.AC. 2357/17

ASUNTO: ACEPTACIÓN TEMA de TESIS

**C. MAURO ALBERTO AGUILAR ROMERO
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA DE
ESTA UNIVERSIDAD
P R E S E N T E**

En atención a la autorización del Tema de Tesis que puso usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al:

**M. C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ
COORDINADOR DEL COLEGIO DE
INGENIERÍA MECÁNICA y ELÉCTRICA**

Habiendo autorizado el tema denominado:

**“OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA ELÉCTRICA DE UNA
SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN”**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor de esta tesis al: **DR. FILIBERTO CANDIA GARCÍA**

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

**ATENTAMENTE
“PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR”
H. PUEBLA DE Z., 9 DE JUNIO DE 2017.**

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR**

c.c.p.- Mesa de Exámenes Profesionales

c.c.p.- Asesor

c.c.p.- Archivo

FDLH/JAUT/lcm

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610



BUAP

Asunto: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
P R E S E N T E**

El suscrito: **Dr. Filiberto Candia Garcia, Asesor del Tema de Tesis denominado:**

**“OPTIMIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA ELÉCTRICA DE UNA
SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN”**

Presentado por el **C. MAURO ALBERTO AGUILAR ROMERO** matrícula **200412306**, Pasante de la Carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio N° D S.AC. 2357/17 de fecha 9 de junio de 2017, me permito informar a usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía de la Tesis, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

**ATENTAMENTE
H. PUEBLA DE Z., 3 DE JULIO DE 2017**

**DR. FILIBERTO CANDIA GARCÍA
ASESOR**

c.c.p.- Exámenes Profesionales
c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Archivo
lcm

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su incondicional apoyo en todos los proyectos que he emprendido y que han sido el motor de mis éxitos así como a mis profesores por ser mis guías.

Y por último quisiera agradecer a todas las personas con las que he cruzado caminos, amistades, compañeros de estudios y trabajo que de alguna manera forman parte de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, porque gracias a su incondicional apoyo y cariño he logrado finalizar el presente trabajo

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Preguntas de investigación.....	3
1.4 Planteamiento del problema	4
1.5 Justificación	4
1.6 Objetivos.....	4
1.6.1 Objetivo general	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 Hipótesis.....	5
1.8 Variables.....	5
CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1 Marco conceptual	7
2.2 Marco teórico	10
2.2.1 Alimentadores primarios.....	10
2.2.2 Configuración radial.....	11
2.2.3 Alimentador en configuración en anillo.....	12
2.2.4 Factores que influyen en el comportamiento de la energía eléctrica.....	13
2.2.4.1 Demanda.....	14
2.2.4.2 Factor de carga.....	16
2.2.4.3 Factor de diversidad.....	16
2.2.4.4 Factor de coincidencia.....	17

2.2.4.5	Factor de pérdidas.....	17
2.2.4.6	Relación entre los Factores de Carga y de Pérdidas.....	17
2.2.4.7	Factor de utilización.....	20
2.2.5	Perdidas de energía	20
2.2.6	Líneas de distribución.....	21
2.2.7	Elementos que constituyen los circuitos de distribución.....	24
2.2.7.1	Interruptores.....	24
2.2.7.2	Relevadores.....	25
2.2.7.3	Restauradores.....	26
2.2.7.4	Seccionalizadores.....	27
2.2.7.5	Fusibles.....	28
2.2.7.6	Capacitores en derivación.....	29
2.2.8	Criterios de construcción de líneas eléctricas aéreas.....	30
2.2.9	Configuración eléctrica de los sistemas eléctricos de distribución.....	32
2.2.10	Generalidades y criterios de diseño de líneas primarias.....	34
2.2.10.1	Trazos y libramientos.....	45
CAPÍTULO III. DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN.....		51
3.1	Optimización de un área de distribución.....	53
3.1.1	Construcción de nuevos alimentadores.....	54
3.1.2	Límites de operación de los circuitos eléctricos de distribución.....	54
3.2	Conocimiento de sistema eléctrico bajo estudio.....	55
3.3	Determinación de los parámetros eléctricos de los circuitos de la subestación JUANDHO.....	56
3.3.1	Modelado en condiciones actuales.....	56
3.3.2	Circuito JUA5010 “Cañada”	57
3.3.3	Circuito JUA5020 “Chilcuautla”	60
3.3.4	Circuito JUA5030 “Progreso”	62
3.3.5	Circuito JUA5040 “Tezontepec”	65

3.3.6 Circuito JUA5050 “Tlahuelilpan”	68
3.3.7 Circuito JUA5060 “Tlaxcoapan”	70
3.3.8 Circuito JUA5070 “Ajacuba”	73
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN.....	76
4.1 Propuesta de solución y su modelado	78
4.1.1 Reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	79
4.1.2 Segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	82
4.1.3 Reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050...85	
CONCLUSIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
APÉNDICE A	93
APÉNDICE B	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 Proceso de distribución de la energía eléctrica.....	7
Figura 2.2 Red típica de distribución.....	8
Figura 2.3 Diagrama unifilar de un alimentador típico.....	11
Figura 2.4 Diagrama de un alimentador radial típico.....	12
Figura 2.5 Alimentador en configuración en anillo.....	13
Figura 2.6 Grafica de la curva característica de un circuito eléctrico de distribución	14
Figura 2.7 Esquema de la medición en los conjuntos del SED.....	15
Figura 2.8 Gráfica del comportamiento de una carga intermitente en un día.....	18
Figura 2.9 Gráfica del comportamiento de una carga residencial en un día.....	18
Figura 2.10 Gráfica del comportamiento de una carga industrial en un día.....	19
Figura 2.11 Interruptor de subestación en el bus secundario de 23 kV.....	25
Figura 2.12 Gabinete de relevadores en subestación.....	26
Figura 2.13 Restaurador en líneas de media tensión.....	27
Figura 2.14 Cortacircuitos fusibles en líneas de media tensión.....	29
Figura 2.15 Bancos de capacitores en líneas de media tensión.....	29
Figura 2.16 Límites permisibles de caída de tensión y pérdidas de potencia.....	36
Figura 2.17 Ángulos máximos de aplicación para las diferentes estructuras.....	36
Figura 2.18 Estructura tipo TS.....	39
Figura 2.19 Estructura tipo TD.....	40
Figura 2.20 Estructura tipo PS.....	40
Figura 2.21 Estructura tipo PD.....	40

Figura 2.22 Estructura tipo RD.....	41
Figura 2.23 Estructura tipo AD.....	41
Figura 2.24 Estructura tipo DA.....	41
Figura 2.25 Estructura tipo VS.....	42
Figura 2.26 Estructura tipo VD.....	42
Figura 2.27 Estructura tipo VR y VA.....	43
Figura 2.28 Retenida sencilla de ancla.....	43
Figura 2.29 Retenida sencilla de ancla orientada a la bisectriz de la línea.....	44
Figura 2.30 Diferentes tipos de retenidas.....	44
Figura 2.31 Alturas mínimas de libramientos de conductores eléctricos....	47
Figura 2.32 Distancias mínimas de libramientos de conductores eléctricos.....	47
Figura 2.33 Distancia de separación entre conductores de un mismo sistema eléctrico y diferente sistema.....	48
Figura 3.1 Ubicación geográfica del área de influencia subestación JUANDHO.....	52
Figura 3.2 Circuitos en media tensión de la subestación JUANDHO.....	52
Figura 3.3 Modelado del circuito JUA5010 en el software Synergee Electric.....	56
Figura 3.4 Modelado del circuito JUA5010 por caída de tensión.....	57
Figura 3.5 Modelado del circuito JUA5020 en el software Synergee Electric.....	59
Figura 3.6 Modelado del circuito JUA5020 por caída de tensión.....	60
Figura 3.7 Modelado del circuito JUA5030 en el software Synergee Electric.....	62
Figura 3.8 Modelado del circuito JUA5030 por caída de tensión... ..	63
Figura 3.9 Modelado del circuito JUA5040 en el software Synergee Electric.....	65
Figura 3.10 Modelado del circuito JUA5040 por caída de tensión.....	66
Figura 3.11 Modelado del circuito JUA5050 en el software Synergee	

Electric.....	67
Figura 3.12 Modelado del circuito JUA5050 por caída de tensión.....	68
Figura 3.13 Modelado del circuito JUA5060 en el software Synergee Electric.....	70
Figura 3.14 Modelado del circuito JUA5060 por caída de tensión.....	71
Figura 3.15 Modelado del circuito JUA5070 en el software Synergee Electric.....	72
Figura 3.16 Modelado del circuito JUA5070 por caída de tensión.....	73
Figura 3.17 Modelado del circuito JUA5070 por caída de tensión.....	75
Figura 4.1 Puntos de enlace existente entre los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	78
Figura 4.2 Reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	80
Figura 4.3 Segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	83
Figura 4.4 Circuitos JUA5040 y JUA5050 en condiciones actuales.....	86
Figura 4.5 Reconfiguración de circuitos JUA5040 y JUA5050.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1 Calibres normalizados para líneas aéreas.....	31
Tabla 2-2 Flechas y tensiones para calibre AAC 336.4.....	32
Tabla 2-3 Configuraciones eléctricas de la red de CFE.....	33
Tabla 2-4 Tensiones de acuerdo a los sistemas eléctricos.....	34
Tabla 2-5 Valores límites de flexión de los componentes mecánicos.....	37
Tabla 2-6 Valores límites de un perno M16.....	38
Tabla 2-7 Distancias de libramiento de las estructuras de la infraestructura eléctrica.....	46
Tabla 2-8 Distancias de separaciones horizontales y verticales entre conductores eléctricos y de comunicación	48
Tabla 3-1 Límites permisibles para la operación de circuitos eléctricos de distribución.....	54
Tabla 3-2 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5010 en condiciones actuales.....	58
Tabla 3-3 Valores de voltaje del circuito JUA5010 en condiciones actuales.....	58
Tabla 3-4 Valores de parámetros eléctricos del circuito JUA5020 en condiciones actuales.....	61
Tabla 3-5 Valores de voltaje del circuito JUA5020 en condiciones actuales.....	61
Tabla 3-6 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5030 en condiciones actuales.....	64
Tabla 3-7 Valores de voltaje del circuito JUA5030 en condiciones actuales.....	64
Tabla 3-8 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5040 en condiciones actuales.....	66
Tabla 3-9 Valores de voltaje del circuito JUA5040 en condiciones	

actuales.....	67
Tabla 3-10 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5050 en condiciones actuales.....	69
Tabla 3-11 Valores de voltaje del circuito JUA5050 en condiciones actuales.....	69
Tabla 3-12 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5060 en condiciones actuales.....	71
Tabla 3-13 Valores de voltaje del circuito JUA5060 en condiciones actuales.....	72
Tabla 3-14 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5070 en condiciones actuales.....	74
Tabla 3-15 Valores de voltaje del circuito JUA5070 en condiciones actuales.....	74
Tabla 3-16 Resumen de parámetros eléctricos de los circuitos en condiciones actuales.....	75
Tabla 4-1 Valores de los parámetros eléctricos en condiciones actuales.....	79
Tabla 4-2 Valores después de la reconfiguración de circuitos.....	81
Tabla 4-3 Valores de voltajes después de la reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	81
Tabla 4-4 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la reconfiguración.....	82
Tabla 4-5 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la segunda reconfiguración.....	84
Tabla 4-6 Valores de voltajes después de la segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.....	84
Tabla 4-7 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la segunda reconfiguración.....	85
Tabla 4-8 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5040, y JUA5050 en condiciones actuales.....	86
Tabla 4-9 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5040	

y JUA5050 después de reconfigurarlos.....	88
Tabla 4-10 Valores de voltajes después de la reconfiguración de circuitos JUA5040 y JUA5050.....	88
Tabla 4-11 Valores de los parámetros eléctricos de la reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050.....	89

ABREVIATURAS

SED	Sistema Eléctrico de Distribución
E.M.	Equipo de Medición
Pe	Pérdidas de energía
Pp	Pérdidas de potencia
Tc	Transformador de corriente
N/A	Normalmente abierto
N/C	Normalmente cerrado
COG	Cuchillas de operación en grupo
R	Restaurador
F	Fusibles
AAC	Conductores eléctricos de aluminio puro
ACSR	Conductores eléctricos de aluminio con alma de acero
AWG	American Wire Gauge (calibre de los conductores)
DP	Estructura de paso en deflexión

DA	Estructura de Anclaje, doble cruceta
TS	Estructura de paso, sencilla
TD	Estructura de paso, doble cruceta
PD	Estructura de paso tipo p
RD	Estructura de remate, doble cruceta
AP	Estructura de anclaje tipo p
VS	Estructura de paso, volada, sencilla
VD	Estructura de paso, volada, doble cruceta
VR	Estructura de remate, volada, doble cruceta
VA	Estructura de anclaje, volada, doble cruceta
RSA	Retenida sencilla de ancla
RDA	Retenida doble de ancla
REA	Retenida de estaca ancla
RBA	Retenida de banquetta ancla
RVP	Retenida volada a poste y ancla
RVE	Retenida volada a estaca y ancla
RPP	Retenida de poste a poste

NOMENCLATURA

kV	Kilo Volts
kVA	Kilo Volts Amperes
KVAr	Kilo Volts Amperes Reactivos
MVAs	Mega Volts Amperes
MW	Mega Watts
%	Por ciento
A	Amperes

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En la actualidad la energía eléctrica a adquirido gran relevancia, sin ella sería prácticamente imposible lograr el desarrollo económico de una población, siendo esto necesario para adquirir las condiciones óptimas de vida a favor de sus habitantes, para poner en marcha esta labor es indispensable tener un suministro adecuado y suficiente de la energía eléctrica, de nada serviría contar con energía limitada únicamente para alimentar un par de focos y una televisión.

Solucionar los problemas de mala calidad de energía eléctrica es la tarea más importante por parte de una empresa suministradora del servicio, ya que es mediante un buen suministro de energía el que se lleven a cabo de forma satisfactoria las diferentes actividades realizadas por los grandes industriales así como por los habitantes de una pequeña población, y que al tener satisfechos a los usuarios, esto se traducirá en una lealtad y empatía hacia la empresa suministradora del servicio, ocasionando que esta se desempeñe de la mejor manera a fin de mantener los estándares de calidad creando un círculo beneficioso.

Al llevar a cabo una optimización del área de influencia de una subestación de distribución, se estará asegurando la calidad en el suministro de la energía eléctrica, llevando los parámetros eléctricos a sus condiciones óptimas de funcionamiento, logrando con esto el buen desempeño de las cargas dentro de dicha área y aunado a esto una reducción en los costos por inclusión de infraestructura eléctrica innecesaria, esto dará como resultado al igual que en el suministro de energía eléctrica una optimización en las tarifas beneficiando directamente a los usuarios del servicio.

Es por este motivo que el suministrador de energía eléctrica tiene que brindar y asegurar un buen servicio de calidad de manera confiable, previendo situaciones de contingencia en fallas y crecimiento de la demanda de la energía eléctrica, a manera de brindar y cubrir satisfactoriamente en todo momento las necesidades de la gente. Esta tarea pilar en el proceso de la distribución de energía eléctrica se logra en base a una buena planeación, conociendo la infraestructura eléctrica que se tiene, el tipo de

carga que se alimenta y los polos de desarrollo que se tengan que alimentar, son los puntos básicos para planear la infraestructura eléctrica a manera de brindar un buen servicio de suministro de energía eléctrica.

Como se ha comentado, la sociedad actual no solo requiere de un suministro de electricidad continuo, también reclama un servicio de calidad, por lo que la empresa suministradora tiene la responsabilidad de realizar los estudios del comportamiento del sistema eléctrico de distribución en media tensión que permitan determinar estrategias y necesidades de inversión para obtener una operación óptima en operación normal del sistema

1.2 Antecedentes

En algunas poblaciones del estado de Hidalgo se tiene la problemática del desabasto y mala calidad de energía eléctrica, esto se debe fundamentalmente a una mala planeación, al olvido, y a la falta de atención para ir actualizando y adecuando la infraestructura eléctrica existente de acuerdo al crecimiento y desarrollo de las poblaciones, por estas razones el estado de Hidalgo actualmente tiene problemas de desabasto de energía eléctrica tanto en los niveles de baja como media tensión y en un periodo a corto plazo, también se tendrá desabasto en la alta tensión si no se toman las medidas correspondientes y si aunado a esto le agregamos el mal estado de la infraestructura eléctrica que se encarga de hacer llegar la energía desde las subestaciones de distribución hasta los hogares y comercios de la comunidad, esto significa un decremento en la calidad y distribución de la energía eléctrica generando un descontento general en la población pero sobre todo un retraso y obstáculo, en el desarrollo económico de las poblaciones afectadas por este problema, provocando así las formas de vida tan precarias que se tienen en dichas poblaciones.

1.3 Preguntas de investigación

¿Cómo podrá mejorarse el proceso de la distribución eléctrica en media tensión?

¿Cómo se obtiene una mejora en los parámetros de energía en los circuitos eléctricos de distribución?

¿Qué es el área de influencia de una subestación eléctrica de distribución?

1.4 Planteamiento del problema

Problemas en la calidad del suministro de energía eléctrica en el área de influencia de la subestación JUANDHO a través de la derivación de los circuitos de distribución

- El crecimiento de la infraestructura eléctrica sin una planeación adecuada ha originado que actualmente se tenga un sistema de distribución de energía eléctrica en media tensión débil, limitado con deficiencias en la calidad de la energía suministrada así como insuficiente a mediano plazo, en donde se corre el riesgo de que ante una falla en alguno de sus elementos eléctricos provoque un colapso de magnitud importante dejando sin servicio de energía eléctrica a miles de usuarios por tiempos prolongados.

1.5 Justificación

Lograr un estudio para optimizar el área de influencia de una subestación representa un gran reto, por todo lo que implica un buen suministro de energía eléctrica, sabemos que hoy en día todo funciona gracias a tan asombroso fenómeno y que nada se podría hacer sin él, es por tal motivo mi convicción de realizar dicho estudio.

1.6 Objetivos

El principal objetivo es que se proporcione un buen suministro de energía eléctrica en el área de influencia de la subestación JUANDHO al cumplir con los parámetros eléctricos de los circuitos de distribución.

1.6.1 Objetivo general

Proporcionar un buen suministro de energía eléctrica cumpliendo con parámetros de calidad y confiabilidad del sistema.

1.6.2 Objetivos específicos

- Disminuir la caída de tensión de los circuitos de distribución de la subestación JUANDHO.
- Definir una metodología para el estudio y análisis de optimización de un área de influencia de una subestación eléctrica de distribución.
- Minimizar pérdidas de potencia y disminuir la cargabilidad

1.7 Hipótesis

Al mejorar la distribución de energía eléctrica mediante la optimización del área de influencia de una subestación se mejoraran los parámetros de suministro de energía eléctrica.

1.8 Variables

Independiente:

Transferencias de cargas entre los circuitos de distribución mediante la apertura y cierre de equipos de seccionamiento.

Dependiente:

Construcción de obra electromecánica en vía pública.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco conceptual

El proceso de distribución de la energía eléctrica [1]

El proceso de la distribución de energía eléctrica, como tal comienza en las subestaciones de distribución, donde normalmente llegan las líneas de sub-transmisión (69-115 kV) y en ocasiones líneas de transmisión (230-400 kV) transportando el flujo de electrones de las centrales generadoras a dichas subestaciones, para transformar la energía de alta tensión a media tensión de donde a partir del bus secundario se desprenden los circuitos de media tensión (13.2-33 kV) que han de suministrar de energía eléctrica a los transformadores de distribución y estos a su vez terminan el proceso de la energía eléctrica abasteciendo de electricidad a los habitantes de las poblaciones como podemos observar en la figura 2.1.

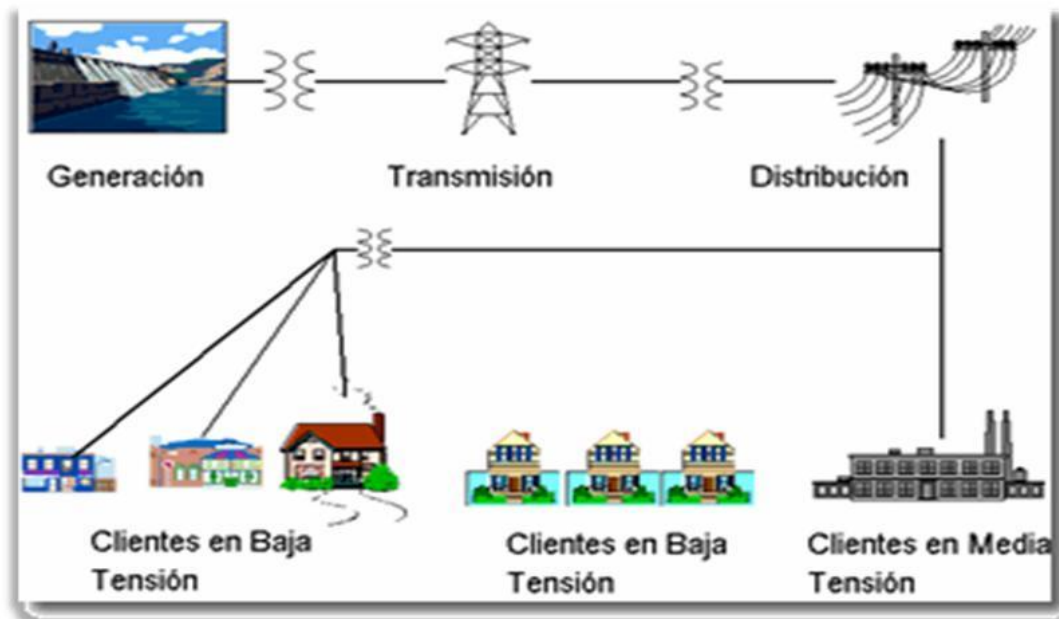


Figura 2.1 Proceso de distribución de la energía eléctrica.

Una red de distribución es la parte de un sistema eléctrico de potencia que se localiza entre las subestaciones de distribución y el punto de servicio a los usuarios de

energía eléctrica. En una subestación de distribución se encuentran los transformadores de potencia reductores, que son los elementos más importantes de una subestación y para su correcto funcionamiento se complementa con equipo eléctrico de operación y protección como son; buses, reguladores de voltaje, cuchillas, interruptores, en estas subestaciones se reduce el voltaje de sub transmisión a uno menor, para poder ser utilizado en la red local. La parte que corresponde a los alimentadores primarios trifásicos, que operan en el rango de 6.6 kV y 34.5 kV, distribuyen la energía eléctrica del bus en el lado secundario de la subestación a sus puntos de consumo donde se ramifican en líneas trifásicos y monofásicos. Los transformadores de distribución por lo general se encuentran conectados a estas líneas y sus capacidades varían de entre 10 a 500 kVA, estos transformadores se encargan de reducir el voltaje de distribución a un voltaje que pueda ser utilizado por el usuario, y los circuitos secundarios se encargan de transportarlo a este punto, a través del servicio a usuarios en baja tensión. La figura 2.2 muestra el diagrama unifilar de un sistema de distribución común. De acuerdo a la figura, los circuitos de subtransmisión entregan la energía eléctrica de las fuentes generadoras a las subestaciones de distribución.

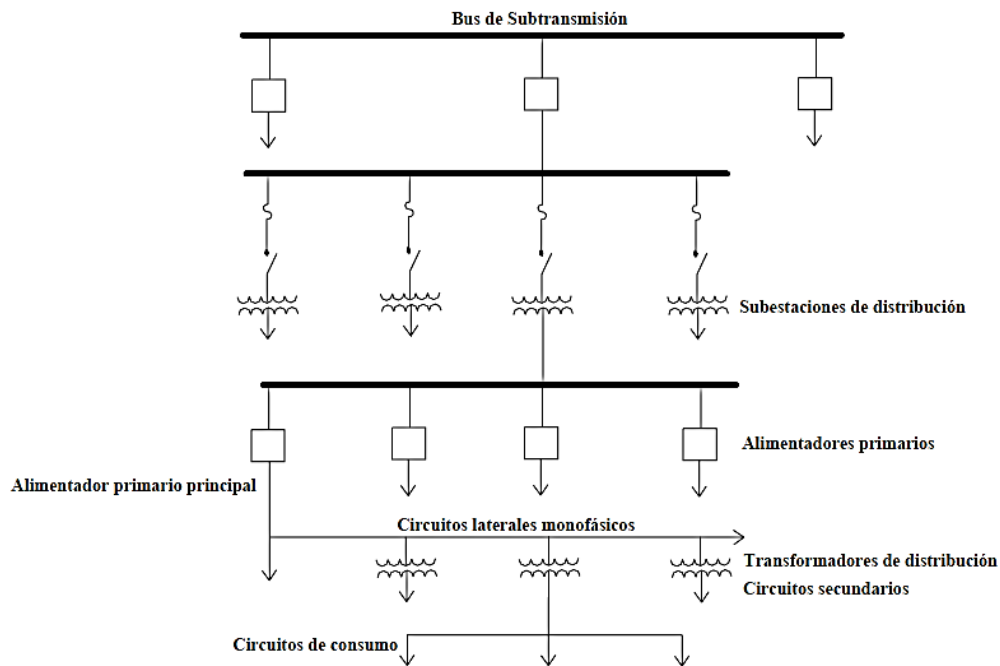


Figura 2.2 Red típica de distribución.

Los sistemas de distribución en nuestro país comprenden principalmente seis partes:

1. Líneas de subtransmisión.
2. Subestaciones de distribución.
3. Circuitos de media tensión.
4. Transformadores de distribución.
5. Circuitos de baja tensión.
6. Acometidas.

Estos elementos se describen a continuación.

- Líneas de subtransmisión: son circuitos de conducción masiva de energía eléctrica a distancia que alimentan e interconectan las subestaciones de distribución, los niveles de tensión utilizados en nuestro país son 138, 115, 85 y 69 kV.
- Subestaciones de distribución: es el conjunto de equipos eléctricos necesarios para la conversión y seccionamiento de energía eléctrica recibida en bloque y distribuida en diferentes trayectorias a través de los circuitos de distribución.
- Circuitos de media tensión: son los circuitos eléctricos que parten de las subestaciones de distribución y proporcionan la potencia eléctrica a los transformadores de distribución, los niveles de tensión utilizados en el país son en 6.6, 13.8, 23 y 34.5 kV.
- Transformadores de distribución: es el equipo eléctrico que reduce la tensión de los circuitos de media tensión a la tensión de utilización de los usuarios.
- Circuitos de baja tensión: son los circuitos que emanan de los transformadores de distribución y proporcionan el camino a la potencia eléctrica que será entregada a los usuarios.
- 6. Acometidas: estos circuitos interconectan al usuario con los sistemas de distribución.

2.2. Marco teórico

2.2.1 Alimentadores primarios

Los alimentadores primarios corresponden a la parte entre la subestación de distribución y los transformadores de distribución con una configuración trifásica (3F-4H), es mediante ellos como se puede llegar desde los centros de distribución hasta los usuarios finales, los alimentadores están conformados de una línea primaria o troncal la cual será la línea más robusta y protegida debido a su importancia ya que estas líneas son las que soportan el mayor número de usuarios [5].

Del alimentador principal se desprenden sus ramificaciones o circuitos laterales que por lo general son monofásicos (1F-2H) alimentando cargas tanto en áreas urbanas residenciales como rurales, en el caso de las zonas industriales y comerciales donde regularmente se tendrá una configuración trifásica.

Los alimentadores primarios pueden ser del tipo subterráneo, los cuales se emplean preferentemente en zonas urbanas en donde existe cualquier cantidad de obstáculos físicos y las trayectorias de conductores aéreos serían casi imposibles o simplemente por cuestiones de imagen, también puede ser usado este tipo en áreas con un alto consumo de energía en donde no habría espacio suficiente para hacer llegar un número considerable de circuitos, esto sucede con frecuencia en las salidas de las subestaciones de distribución, ya que cuenta con una mejor confiabilidad que los circuitos aéreos. Una característica importante es que reduce en gran medida el espacio a utilizar, la desventaja es que su costo económico es muy elevado y en caso de alguna falla requiere de mayor tiempo de reparación comparados con los conductores aéreos.

Existen varios factores a considerar en el diseño de alimentadores primarios (figura 2.3), donde podríamos mencionar los siguientes [3] [4]:

- Tipo de carga de alimentación.
- Densidad de carga en el área de suministro.
- La tasa de crecimiento de la carga.

- Situaciones de respaldo de energía en condiciones de contingencia.
- La construcción del circuito.
- Tipo de equipo para operar y restaurar los circuitos.
- Calidad en el servicio.
- Continuidad del servicio.
- De acuerdo a la configuración, existen dos tipos de arreglos para alimentadores primarios: radiales y en anillo.

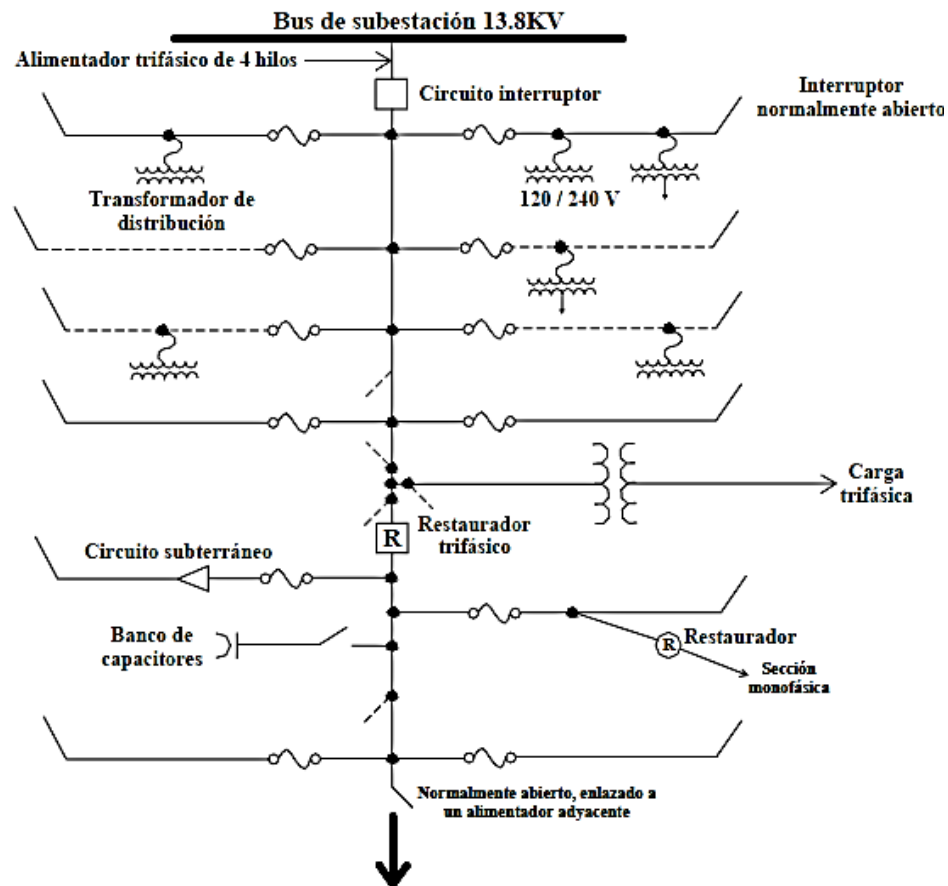


Figura 2.3 Diagrama unifilar de un alimentador típico.

2.2.2 Configuración radial

Es un sistema que permite la transferencia de potencia entre la fuente y la carga por una sola trayectoria, el sistema radial es el más sencillo, económico y comúnmente usado pero es poco confiable ya que cualquier falla interrumpe la alimentación de la

carga. En la configuración radial el alimentador primario se ramifica en circuitos laterales o ramales los cuales a su vez se dividen en subramales de acuerdo al desarrollo poblacional que se tenga.

Como se ha comentada en el párrafo anterior la confiabilidad en la continuidad del suministro de energía eléctrica de esta configuración es muy baja ya que, cuando ocurre una falla en alguna parte de la red, provoca una interrupción en el servicio de cada usuario conectado al alimentador, a menos que la falla sea aislada por los dispositivos de protección como se ejemplifica en la figura 2.4.

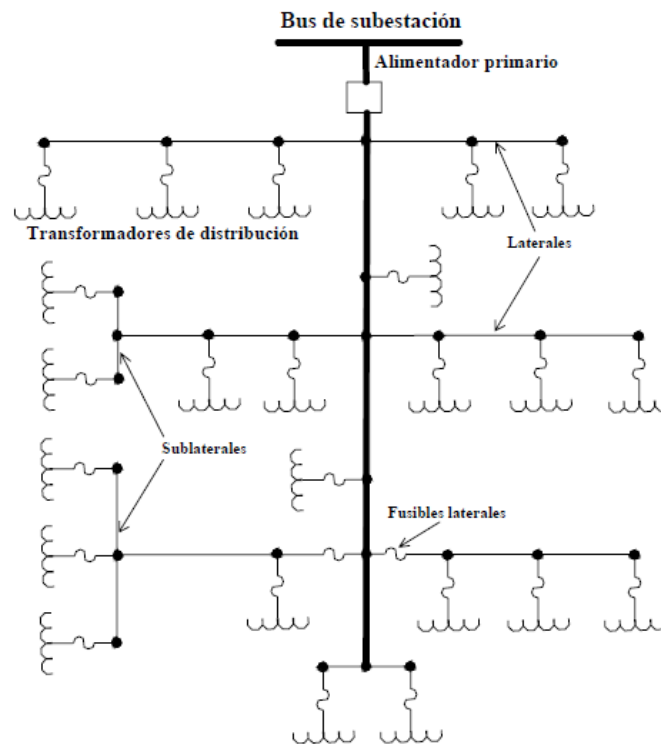


Figura 2.4 Diagrama de un alimentador radial típico.

2.2.3 Alimentador en configuración en anillo

Es un sistema que permite la transferencia de potencia entre fuentes por dos o más trayectorias, este arreglo aumenta en forma considerable la confiabilidad del sistema, se forma cuando en una dirección se enlaza el bus de alimentación hacia el área de carga, y en otra dirección regresa al bus de alimentación. Por lo regular, el

calibre de los conductores que forman el anillo es el mismo, con la finalidad de tener la misma capacidad de transporte de carga en ambos lados del circuito y así poder respaldar la carga en condiciones de contingencia sin tener una fuerte repercusión en los parámetros de suministro del circuito.

El alimentador tipo anillo (figura 2.5), representa ventajas en los servicios de suministro a cargas donde se demande una alta confiabilidad.

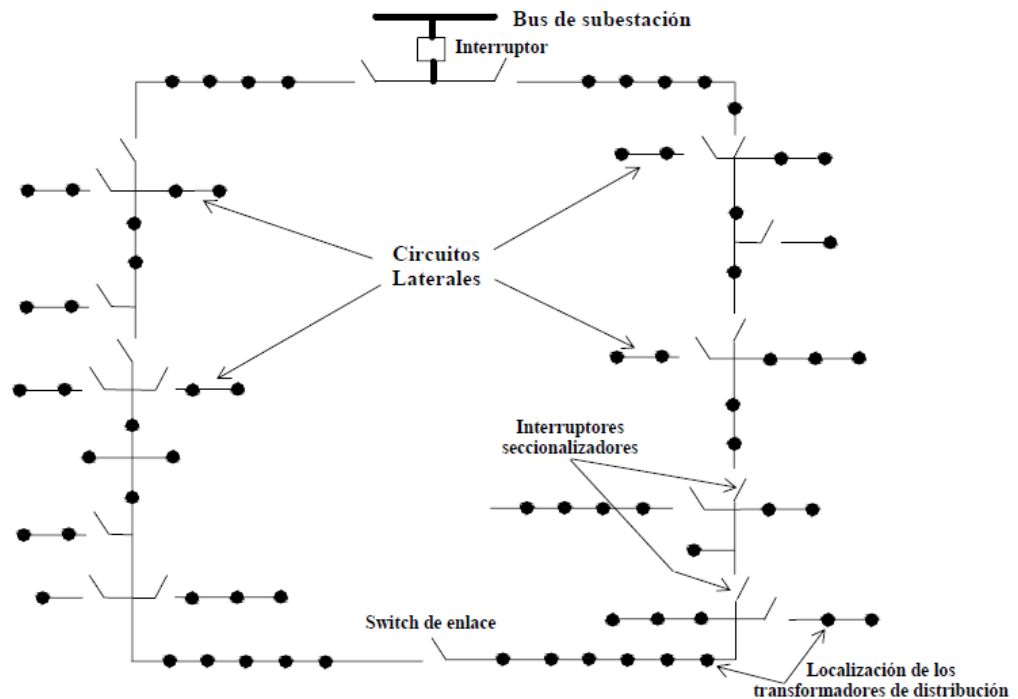


Figura 2.5 Alimentador en configuración en anillo.

2.2.4 Factores que influyen en el comportamiento de la energía eléctrica

En la optimización de un área de influencia de una subestación eléctrica de distribución existen factores fundamentales los cuales hay que monitorear continuamente y cuidar que no sobrepasen sus limitaciones, las cuales se encuentran normadas, a fin de evitar problemas en el suministro de energía eléctrica, dichos factores se describen a continuación.

2.2.4.1 Demanda

La demanda de una instalación o sistema es la carga en las terminales receptoras, promediada sobre un intervalo de tiempo especificado en donde dicho intervalo se maneja con un valor de 15 minutos siendo este intervalo el utilizado en todo el país.

La potencia de la carga puede estar expresada en kilowatts (kW), kilovars (kVAr), kilo volt amperes (kVA), kilo amperes (kA) o amperes (A).

Demanda máxima

La demanda máxima de una instalación o sistema es la mayor de todas las demandas que han ocurrido durante el período de tiempo especificado (día, semana, mes, año, etc.) como se muestra en la figura 2.6.

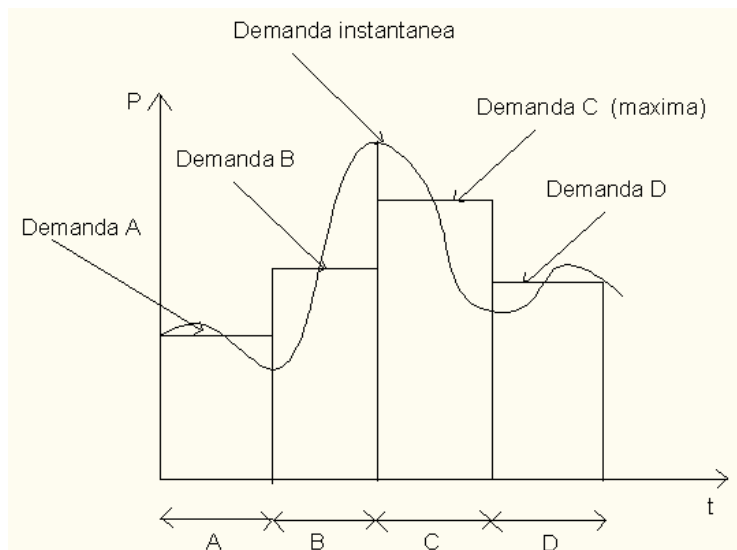


Figura 2.6 Gráfica de la curva característica de un circuito eléctrico de distribución.

Dentro de la demanda se tienen dos conceptos importantes a tomar en cuenta, dependiendo de los elementos que sean considerados, los cuales son la demanda diversificada o coincidente y la demanda no coincidentes, en donde su diferencia fundamental radica en un periodo de tiempo determinado dentro del cual se registran los valores de demanda de los diferentes elementos del SED (Sistema Eléctrico de Distribución).

La demanda coincidente es la demanda del grupo compuesto como un conjunto de algunas cargas sin relación sobre un período de tiempo especificado, es decir, la suma máxima de las contribuciones de las demandas individuales a la demanda diversificada durante un período de tiempo específico. Mientras que la demanda no coincidente es la suma de las demandas de un grupo de cargas sin restricciones en el intervalo al cual cada demanda es aplicable.

Dicho de otra manera, cuando se trata de la demanda de un solo elemento que cuente con equipo de medición (circuito de media tensión, banco de transformación en la subestación de distribución y línea de alta tensión que suministre la subestación de distribución, figura 2.7) se estará hablando que dicho equipo arroja una demanda coincidente, y se habla de demanda no coincidente cuando al no haber equipo de medición en alguno de los elementos antes mencionados se realice la suma individual de los valores de demanda de cada uno de los elementos que conformen a un elemento primario a manera de estimar o tener una idea de la demanda de algún elemento en cuestión.

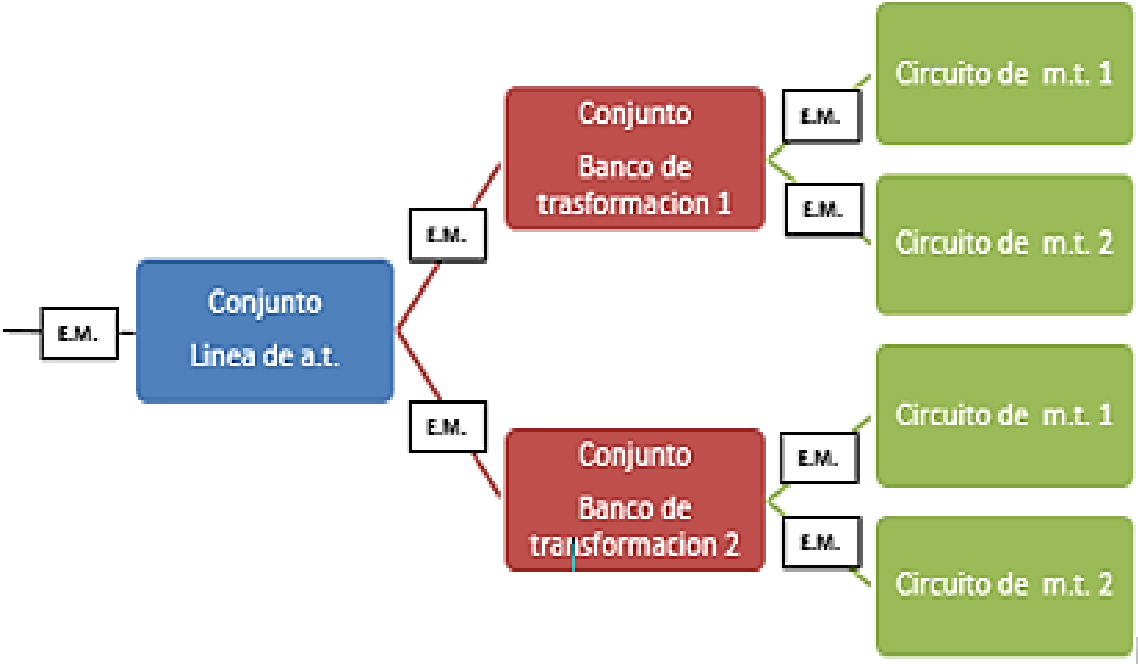


Figura 2.7 Esquema de la medición en los conjuntos del SED.

Por ejemplo al no tener medición de la línea de alta tensión que suministra de energía eléctrica a una subestación de distribución se podría pensar que estimar su demanda se realizaría a través de la suma de los bancos de transformación que la conforman, siendo este un valor de muy poca precisión e inutilizable para ser considerado como dato para posibles cálculos, cuando se presente este tipo de problemas es necesario corregir este valor como se explicara más adelante.

2.2.4.2 Factor de carga

Otro factor importante es el factor de carga, el cual está dado por la relación de la carga promedio sobre un período de tiempo designado, a la carga pico ocurrida en ese período.

El Factor de Carga es igual o menor a 1.0.

$$F_{CA} = \frac{\text{Carga promedio}}{\text{Carga pico}} = \frac{\text{Carga promedio} \times T}{\text{Carga pico} \times T} = \frac{\text{Energía servida}}{\text{Carga pico} \times T} \quad (1)$$

En donde T = tiempo, en días, semanas, meses, o años (24, 168, 720 o 8 760 horas). Entre mayor sea el período T menor será el factor de carga resultante. La razón de esto es que para la misma demanda máxima la energía consumida cubre un período de tiempo mayor y resulta en una carga promedio menor.

2.2.4.3 Factor de Diversidad

Es la relación de la suma de las demandas máximas individuales de las diferentes subdivisiones de un sistema, a la demanda máxima coincidente total del grupo.

El Factor de diversidad es igual o mayor de 1.0.

$$F_{DI} = \frac{\Sigma D_{MA}}{D_{MA CO}} \quad (2)$$

2.2.4.4 Factor de coincidencia

Es la relación de la demanda máxima coincidente total de un grupo de cargas, a la suma de las demandas máximas de las cargas individuales.

El Factor de coincidencia es el recíproco del Factor de Diversidad, por lo que su valor es igual o menor de 1.0.

$$F_{CO} = \frac{D_{MACO}}{\Sigma D_{MA}} = \frac{1}{F_{DI}} \quad (3)$$

2.2.4.5 Factor de pérdidas

Relaciona las pérdidas de potencia promedio con las pérdidas de potencia en carga pico, durante un período de tiempo especificado.

$$F_{PE} = \frac{\text{Pérdidas de potencia en carga promedio}}{\text{Pérdidas de potencia en carga pico}} \quad (4)$$

El factor de pérdidas es aplicable solamente a las pérdidas de cobre del sistema (I^2R), más no a las pérdidas de hierro (I_N^2/G).

2.2.4.6 Relación entre los Factores de Carga y de Pérdidas

Para cualquier curva de carga dada el factor de pérdidas puede ser algún valor entre el factor de carga y el cuadrado del factor de carga.

Caso 1

Si la carga permanece en su valor pico todo el tiempo en que está presente y es cero durante el resto del período de tiempo, entonces el factor de pérdidas es igual al factor de carga.

$$F_{PE} = F_{CA} \quad (5)$$

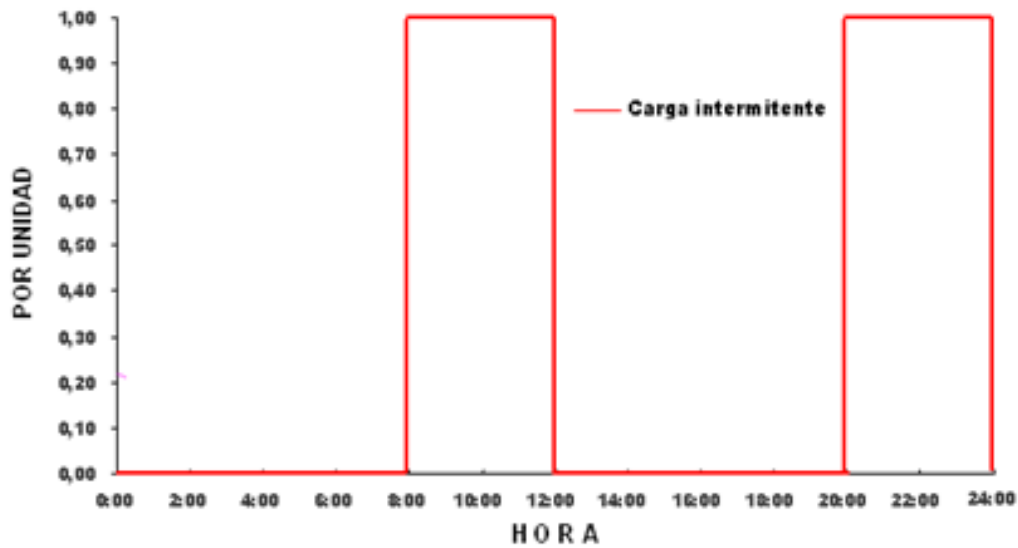


Figura 2.8 Gráfica del comportamiento de una carga intermitente en un día.

Caso 2

Si la carga durante el período bajo consideración tiene un pico pronunciado de muy corta duración y después una carga bastante estable de un valor casi fijo (figura 2.9), entonces el factor de pérdidas se aproxima al factor de carga al cuadrado.

$$F_{PE} \approx F_{CA}^2 \quad (6)$$

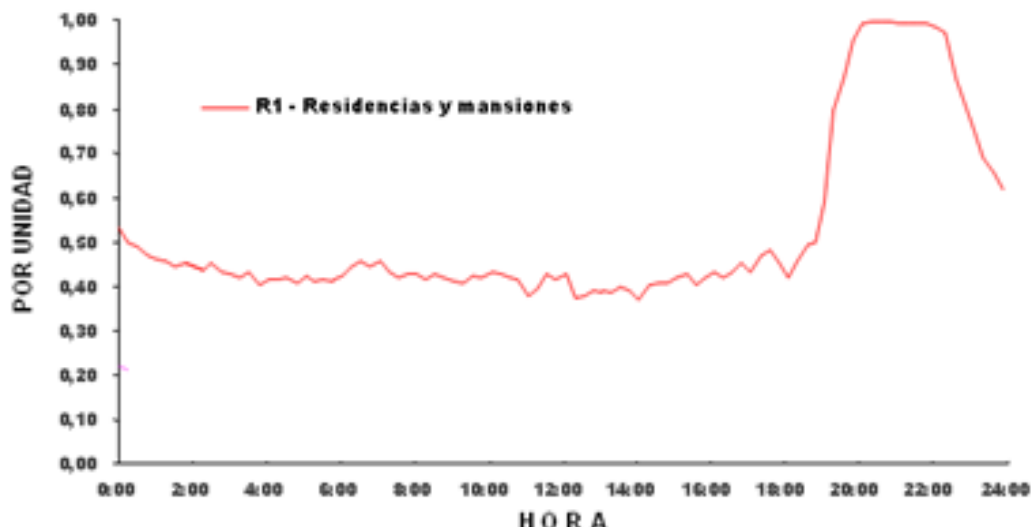


Figura 2.9 Gráfica del comportamiento de una carga residencial en un día.

Caso 3

Si es despreciable la diferencia entre la carga pico y la carga fuera de pico, como se muestra en la figura 2.10 (la carga es estable), entonces el factor de pérdidas se aproxima al factor de carga.

$$F_{PE} \approx F_{CA} \quad (7)$$

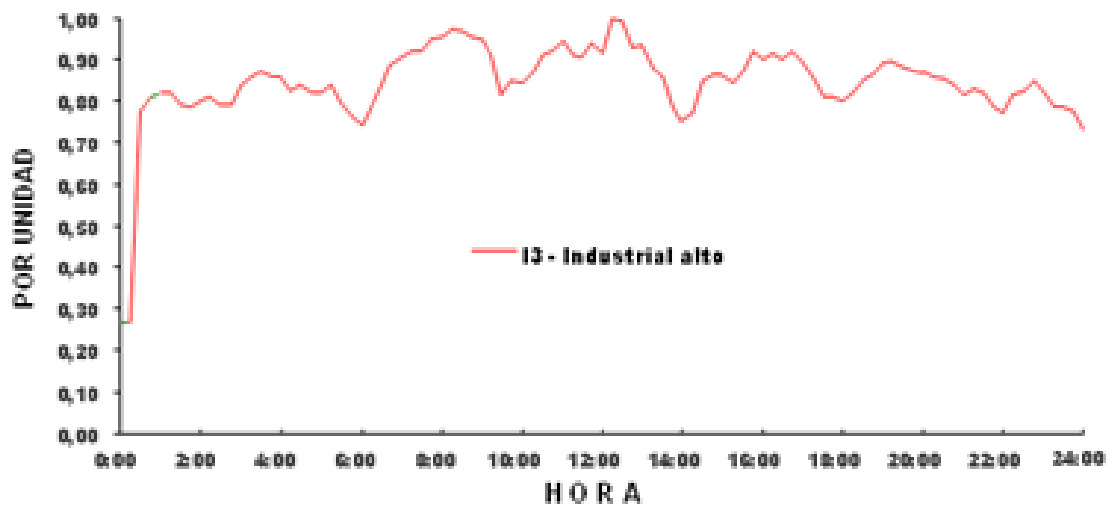


Figura 2.10 Gráfica del comportamiento de una carga industrial en un día.

Por consiguiente, en general el valor del factor de pérdidas es:

$$F_{CA}^2 < F_{PE} < F_{CA} \quad (8)$$

Buller y Woodrow [11] desarrollaron la fórmula no. 9 aproximada para relacionar el factor de pérdidas con el factor de carga:

$$F_{PE} = xF_{CA} + (1 - X)F_{CA}^2 \quad (9)$$

Para nuestro caso, al efectuar el análisis de los sistemas de distribución de media tensión para $x = 0.15$ y $X = 0.85$:

$$F_{PE} = 0.15 F_{CA} + (1 - 0.85)F_{CA}^2 \quad (10)$$

2.2.4.7 Factor de utilización

Es la relación de la demanda máxima de un sistema a su capacidad nominal.

El factor de utilización puede ser encontrado también para una parte o una componente del sistema. La capacidad nominal del sistema debe ser seleccionada como la menor entre su capacidad térmica o su capacidad por caída de tensión.

$$F_U = \frac{\text{Demanda máxima del sistema}}{\text{Capacidad nominal del sistema}} \quad (11)$$

2.2.5 Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía se pueden clasificar como técnicas y no técnicas: las pérdidas técnicas son aquellas que se generan como parte inherente del proceso de distribución de la energía eléctrica y que se presenta prácticamente en todos los elementos de la infraestructura eléctrica en menor o mayor medida dependiendo de las condiciones de diseño que tenga la red y las pérdidas no técnicas son todas las que se generan, ya sea por errores en medición o por usos ilícitos y actos vandálicos por parte de la población.

Las pérdidas no técnicas se pueden clasificar en tres tipos:

a) Accidentales, las cuales tienen su origen en el mal uso u operación de los elementos y equipos de los circuitos eléctricos, tal es el caso de un conexionado erróneo.

b) Administrativas, energía que por algún motivo no se contabiliza como usuarios sin medidor.

c) Fraudulentas, referidas a la energía que toman algunos consumidores evitando mediante algún mecanismo pasar por los medidores de la compañía de electricidad.

Dentro de las pérdidas técnicas se pueden obtener métodos y técnicas para llevar estas a niveles aceptables, o dicho de otra manera es la propia empresa suministradora la que tiene un control sobre ellas.

Uno de los principales problemas que se tienen en la región son las pérdidas no técnicas, particularmente las del tipo fraudulento por parte de consumidores deshonestos, debido principalmente a una falta de cultura en la población y al gran vandalismo en la región, en donde se tienen poblaciones enteras las cuales no permiten el acceso del personal de la empresa y mucho menos el cobro por el uso de la energía.

La reducción de las pérdidas, producto de la selección de transformadores y conductores, en base a un criterio de eficiencia, y el manejo de reactivos, entre otras medidas, permitirá disponer de un sistema eficiente de distribución de electricidad.

Los métodos principales para reducir las pérdidas eléctricas son:

(1) Reemplazar los conductores definidos por las normas (capaces de soportar el calentamiento máximo asociado a la carga prevista y de asegurar una caída de voltaje inferior al límite establecido por las normas), por otros de mayor calibre (en la medida que el costo del conductor no supere el valor monetario de las pérdidas).

(2) Agregar alimentadores en paralelo.

(3) Incrementar el voltaje de distribución.

(4) Seleccionar para el proyecto de los transformadores que están en servicio por otros de mayor potencia y/o más eficientes.

(5) Agregar bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia de las cargas y así mejorar la capacidad de transporte de las líneas.

(6) Equilibrar las fases del sistema para contar con un sistema balanceado.

2.2.6 Líneas de distribución

La función de los cables de distribución es transportar la corriente eléctrica

desde la fuente de abastecimiento (normalmente de la subestación del usuario al punto de consumo).

Desgraciadamente, debido a su resistencia eléctrica, el cable disipa en forma de calor parte de la energía eléctrica transportada. La energía perdida usando cables especificados sin considerar la minimización de los costos totales del sistema (costos de inversión y de operación a lo largo de la vida útil de la instalación) se traduce en mayores costos para el usuario.

La selección del tipo de cable depende además de los factores anteriores de: la temperatura ambiente, la humedad, los esfuerzos mecánicos a los que está sometido, la composición química del ambiente exterior, las sobrecargas y las corrientes de corto-circuito previstas, el robo y vandalismo, los riesgos de fuego y explosión, etc.

El incrementar el calibre de las líneas conduce a reducir las pérdidas eléctricas, opción que no debe adoptarse en forma mecánica ya que dicho incremento va acompañado de mayores costos de inversión de ahí que exista el compromiso entre la reducción de los costos de operación y el aumento de los costos de inversión. En el caso del aumento del calibre de los conductores no sólo se debe considerar el mayor precio por metro del cable sino que además el de la instalación (que incluye mano de obra, postes y el resto de los componentes necesarios para la instalación de los cables) [5].

Como es posible apreciar, el conductor seleccionado en base a los parámetros económicos puede tener 1 a 2 calibres más que el dimensionado en base a los parámetros técnicos. A su vez, un conductor que está siendo utilizado sobre su condición de diseño, cuando se reemplaza por un conductor del calibre inmediatamente superior permite obtener una disminución en las pérdidas significativas.

En términos generales, la corrección del factor de potencia al nivel de los centros de consumo alivia la carga eléctrica de las líneas de distribución, lo que se traduce en una importante reducción de las pérdidas. Los ahorros efectivos dependen del mayor o menor grado de concentración de las cargas, de los factores de potencia antes y después de la corrección, y del voltaje de distribución.

Las pérdidas de energía equivalen a la diferencia entre la energía generada y la energía distribuida y comercializada, los cuales pueden clasificarse como pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.

Las pérdidas de energía eléctrica debidas a ilícitos es un problema que se dejó adelantar demasiado a los procedimientos y a la tecnología para combatirlo. Es un fenómeno parecido al robo de autos: cada dispositivo (alarma) que sale al mercado para combatirlo es descifrado por los ladrones. La gravedad del problema hace que se empiecen a tomar medidas al respecto.

Finalmente, aunado a la deshonestidad de muchos consumidores, se encuentra todavía en algunos lugares la equivocada percepción de que la generación y entrega de la energía eléctrica "no cuesta mucho" y que "por ley" tenemos derecho a ella sin ninguna obligación, como ayudar a la calidad del servicio (las fugas incontrolables de energía afectan, entre otras cosas, la calidad del servicio).

Lo que también es cierto, que la energía que algunos roban, todos la tenemos que pagar de alguna manera.

Como se vio anteriormente el factor de pérdidas se define como la relación del promedio de pérdidas de potencia y las pérdidas de potencia durante la demanda máxima y más específicamente con la ecuación de Bullery Woodrow.

Ecuación de Bullery Woodrow

$$F_{PE} = xF_{CA} + (1 - X)F_{CA}^2 \quad (12)$$

F_{PE} = Factor de pérdidas

F_{CA} = Factor de carga

El valor de la variable X depende de las características de cada sistema.

Ya teniendo el valor del factor de pérdidas podemos obtener las pérdidas de energía mediante la siguiente ecuación.

$$P_E = F_P * P_P * T \quad (13)$$

P_E = Pérdidas de energía

P_p = Pérdidas de potencia

T = Periodo de tiempo

2.2.7 Elementos que constituyen los circuitos de distribución

Dentro del sistema de distribución es posible encontrar diferentes equipos como son: transformadores de distribución, interruptores, relevadores, restauradores, capacitores, seccionadores, reguladores, cuchillas los cuales cumplen una función específica y que se describen a continuación [6] [7] [8] [9].

2.2.7.1 Interruptores

Uno de los dispositivos de protección más importantes en los sistemas de distribución es el interruptor como se muestra en la figura 2.11, este se puede clasificar por su tensión en interruptores de mediana y baja tensión. Se puede definir en forma general como un dispositivo de apertura o cierre mecánico capaz de soportar tanto corriente de operación normal como altas corrientes durante un tiempo específico, debido a fallas en el sistema. Los interruptores pueden cerrarse o abrirse en forma manual o automática. Estos dispositivos deben tener una alta capacidad de interrupción de corriente y soportar altas corrientes de operación en forma continua. Su operación automática se lleva a efecto por medio de relevadores, que son los encargados de censar las condiciones de operación de la red; situaciones anormales tales como sobrecargas o corrientes de falla ejercen acciones de mando sobre el interruptor, ordenándole abrir. Estas señales pueden ser enviadas en forma eléctrica, mecánica, hidráulica o neumática. La interrupción del arco producido por estas corrientes puede llevarse a cabo por medio de:

- Aceite
- Vacío
- Hexafloruro de azufre (Sf6)
- Soplo de aire



Figura 2.11 Interruptor de subestación en el bus secundario de 23 kV.

2.2.7.2 Relevadores

Los relevadores, se observa en la figura 2.12, son los dispositivos que sirven para censar o detectar las condiciones de operación de la red y ordenar el cierre o apertura de los interruptores: como estos últimos, se consideran en general dentro del equipo de las subestaciones dado su tamaño, costo y valores nominales. Desde el punto de vista de distribución estos dispositivos se pueden clasificar como relevadores de sobrecorriente y de cierre.

La señal que reciben es mediante transformadores de corriente (TC) pudiendo encontrarse estos alojados en las boquillas de los interruptores o de manera individual en la subestación con relaciones de transformación tales como 600:5, 1200:5, etc.



Figura 2.12 Gabinete de relevadores en subestación.

2.2.7.3 Restauradores

El restaurador, como se observa en la figura 2.13, es un aparato que al detectar una condición de sobre corriente interrumpe el flujo, y una vez que ha transcurrido un tiempo determinado cierra sus contactos nuevamente, energizando el circuito protegido. Si la condición de falla sigue presente, el restaurador repite la secuencia de cierre-apertura un número de veces más (por lo general son 4 como máximo). Después de la cuarta operación de apertura queda en posición de abierto definitivamente. Cuando un restaurador detecta una situación de falla abre en un ciclo y medio. Esta rápida operación de apertura disminuye la probabilidad de daño a los equipos instalados en el circuito uno o uno y medio segundos después cierra sus contactos, energizando nuevamente el circuito; esto significa una pequeña interrupción en los servicios conectados. Después de una, dos y hasta tres operaciones rápidas el restaurador cambia a una operación de características retardada, tal disparo retardado permite coordinar este aparato con otros dispositivos de protección. Los restauradores tienen la característica de restablecerse automáticamente. Si un restaurador se calibra para abrir después de su cuarta operación de apertura, pero la falla es transitoria y se elimina después de su primera, segunda o tercera operación, el restaurador se

restablece a su posición original y queda listo para llevar a cabo otro ciclo de operaciones, pero si el restaurador es sometido a una falla de carácter permanente y pasa por un ciclo completo de recierres y aperturas hasta quedar abiertos, entonces se debe cerrar manualmente para volver a energizar la sección de línea que protege.

Los restauradores se pueden usar en cualquier parte del circuito primario de distribución.



Figura 2.13 Restaurador en líneas de media tensión.

Los lugares más lógicos para utilizarse son:

- En las salidas de las subestaciones que alimentan los circuitos de distribución.
- Sobre la troncal.
- En los puntos donde se unen las derivaciones con los troncales.
- En los puntos de enlace que se tengan con otros circuitos o con el propio circuito por situaciones de contingencia.

2.2.7.4 Seccionalizadores

La incorporación de este tipo de dispositivos de protección en alimentadores de distribución hace posible que las fallas puedan ser aisladas o seccionadas, confinando

la zona de disturbio del alimentador a una mínima parte del circuito y por tanto afectan solamente a los usuarios conectados a esa derivación. Es por esto que cobra suma importancia la ubicación correcta de un seccionalizador en el desarrollo de un alimentador, de tal manera que nunca deben ser instalados en las troncales o subtroncales importantes. El seccionalizador es un dispositivo de apertura de un circuito eléctrico que abre sus contactos automáticamente mientras el circuito esta desenergizado por la operación de un interruptor o un restaurador. Debido a que este equipo no está diseñado para interrumpir corrientes de falla, se utiliza siempre en serie con un dispositivo de interrupción. Asimismo, dado que no interrumpe corriente de falla no tiene características tiempo-corriente, lo que constituye una de sus mayores ventajas y facilita su aplicación en los esquemas de protección.

2.2.7.5 Fusibles

Los fusibles como se muestra en la figura 2.14, se emplea como elemento de protección para la desconexión del corto circuito, el cual está constituido de una determinada sección transversal hecha de una aleación metálica, este se funde al paso de una magnitud de corriente superior para la que fue diseñado.



Figura 2.14 Cortacircuitos fusibles en líneas de media tensión

Para fusibles de un solo elemento es común usar aleaciones a partir de estaño cobre o plata, existiendo diversas opiniones sobre las propiedades relativas de estos

materiales, algunos fabricantes sostienen que el elemento de baja temperatura de fusión previene daños al tubo protector que rodea al elemento y al mismo porta fusible en sobrecargas y que el mejor material consecuentemente para los fusibles de un solo elemento es el estaño puro.

2.2.7.6 Capacitores en derivación

Los capacitores como se observa en la figura 2.15, proporcionan kVAr's en adelanto para compensar los kVAr de atraso demandados por la carga, en otras palabras los capacitores son generadores de potencia reactiva, esto es, la proporcionan a la red en lugar de absorberla mejorando así la regulación de voltaje y el flujo de potencia reactiva en el punto donde son instalados.



Figura 2.15 Bancos de capacitores en líneas de media tensión.

La función principal de los capacitores es regular el voltaje y el flujo de potencia reactiva en el punto donde son instalados, mejorando la eficiencia de los sistemas de distribución en dos maneras:

- Reduciendo las corrientes de línea al mejorar el factor de potencia a un valor cercano al 100%.
- Mejorando el voltaje de línea, que influye en menores pérdidas sobre las líneas y transformadores del sistema.

Por lo general, los capacitores instalados en el circuito alimentador de una red de distribución están colocados en grupos denominados bancos de capacitores.

2.2.8 Criterios de construcción de líneas eléctricas aéreas

Para lograr la optimización de un área de influencia de una subestación es necesaria en casi todos los casos la construcción o modificación de la red eléctrica existente, esto por lo general sucede para la construcción de enlaces o la modificación de la infraestructura por cambio de trayectoria del circuito, para lo cual se tienen normas y criterios de construcción los cuales se describen a continuación [2] [3].

Unos de los aspectos importantes son las limitantes mecánicas que tendrán los materiales utilizados en la construcción de líneas eléctricas aéreas como postes, conductores, herrajes dentro de los cuales podríamos mencionar los siguientes.

- Mínima temperatura ambiente: -10° c, sin hielo.
- Máxima presión en el poste: 66 kG/M²
- Máxima presión de viento en los conductores: 39 kG/M²

Bajo las limitantes anteriores, estas normas satisfacen las condiciones mecánicas requeridas por los conductores comúnmente utilizados en líneas aéreas de distribución hasta el calibre en ACSR de 336,4 kCM. Cualquier condición mecánica diferente a las condiciones anteriores requiere de un cálculo específico.

Para la selección de conductores se deben considerar factores eléctricos mecánicos ambientales y económicos, eléctricamente se calcula el calibre en función de la carga por alimentar como se muestra en la tabla 2.1, y la distancia de la fuente a la carga analizando regulación y pérdidas de energía por conducción.

Mecánicamente se seleccionan las estructuras de soporte en función de la carga de ruptura del conductor y de la flecha del mismo que a su vez depende de la temperatura y de la presión del viento.

Las condiciones ambientales también tienen que ser tomadas en cuenta ya que pueden ser normales, contaminadas o de alto esfuerzo mecánico como las causadas por viento o hielo y que dependiendo de cada escenario se ocuparan las estructuras y materiales adecuados para cada situación.

Tabla 2-1 Calibres normalizados para líneas aéreas

Calibre (AWG o KCM)	Material	Hilos	Área (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/1000 m)	Kg/1000 m 3 Conductores + 5%	Carga de ruptura (Kg)	Capacidad (Amperes)	Equivalente en conductividad
2	Cu	7	33,62	8,14	305	931	1312	230	-
1/0	Cu	7	53,48	9,36	485	1479	2155	310	-
3/0	Cu	7	85,01	11,8	771	2352	3341	420	-
250	Cu	19	126,7	15,24	1149	3505	5048	540	-
3/0	AAC	7	85,01	12,75	234,4	715	1377	330	Cu 1/0
266,8	AAC	19	135,2	16,31	372,8	1137	2784	440	Cu 3/0
336,4	AAC	19	170,5	18,29	470,1	1434	2730	510	Cu 4/0
477	AAC	19	241,7	21,77	666,4	2033	3773	640	300
1/0	ACSR	6/1	62,4	10,11	216	659	1940	240	Cu 2
3/0	ACSR	6/1	99,23	12,75	343	1046	3030	315	Cu 1/0
266,8	ACSR	26/7	157,22	16,28	545	1662	5100	455	Cu 3/0
336,4	ACSR	26/7	198,3	18,31	689	2101	6375	530	Cu 4/0
477	ACSR	26/7	281,1	21,8	977	2980	8820	660	300

Para líneas de media tensión aérea con conductor desnudo se utilizan los siguientes materiales:

- a) AAC: En áreas urbanas y de contaminación.
- b) ACSR: Líneas y áreas rurales.
- c) COBRE: En áreas donde se justifique técnica y económicamente.

Por cuestiones de uniformidad se toma como criterio que las líneas troncales serán con calibre 266 o 336 en material AAC o ACSR dependiendo de la situación descrita anteriormente y para ramales se tendrá calibre ACSR 3/0 [5].

En instalaciones aéreas, es necesario el conocimiento de las tensiones mecánicas que se aplicarán al conductor para determinar las limitaciones mecánicas de las estructuras, las flechas de las catenarias, libramientos y separación eléctrica de los conductores. El criterio general es que la tensión mecánica de los diferentes conductores, permita obtener el máximo claro interpostal sin rebasar los límites de tracción de los conductores, sin problemas por separaciones eléctricas y por resistencia mecánica de los diferentes componentes de la estructura, éste claro máximo es el claro de diseño y se encuentra en el encabezado de las tablas de flechas y tensiones de las normas como se muestra en la tabla 2-2.

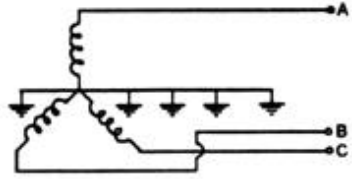
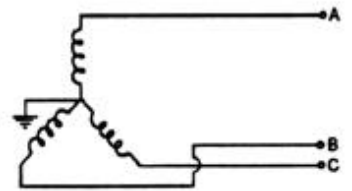
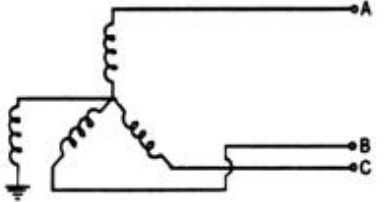
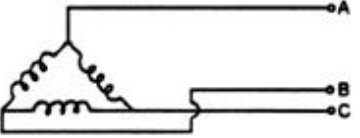
Tabla 2-2 flechas y tensiones para calibre AAC 336.4

FLECHAS Y TENSIONES PARA REVISAR LIBRAMIENTOS														
CABLE AAC 336.4 KCM														
P = 520 m PARÁMETRO DE DISEÑO A 50°C, SIN VIENTO, CONDICIÓN FINAL														
CLARO DE DISEÑO 79 m.														
VELOCIDAD DE VIENTO = 120 km/h.														
Tensión hor. Máxima de diseño a -10°C con Viento Reducido y Hielo TH ₁ = 9059 N														
Tensión hor. Máxima de diseño a 0°C con Viento Máximo TH ₂ = 7487 N														
Temperatura (°C)	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	P (m)
Claro Regla (m.)	Tensiones (kg)													
	Flechas (cm)													
30	888	773	661	552	448	355	279	223	184	158	139	125	114	243
	6	7	8	10	12	15	19	24	29	33	38	42	46	
35	868	755	645	539	441	355	287	236	200	174	155	141	129	275
	8	10	11	13	16	20	25	30	36	41	46	51	56	
40	870	758	650	547	452	371	305	256	220	193	173	158	146	310
	11	12	14	17	21	25	31	37	43	49	54	59	64	
45	853	744	638	539	450	374	314	268	234	208	188	172	160	340
	14	16	19	22	26	32	38	44	51	57	63	69	74	
50	842	735	632	537	453	382	325	282	248	223	203	187	174	370
	17	20	23	27	32	38	45	52	59	66	72	79	84	
55	836	731	631	540	460	392	338	296	264	238	218	202	188	400
	21	24	28	33	39	45	53	60	67	75	82	88	94	
60	815	713	618	531	456	394	344	305	274	249	230	213	200	425
	26	30	34	40	46	54	61	69	77	85	92	99	106	
65	799	700	608	527	456	398	352	314	285	261	241	225	212	450
	31	35	41	47	54	62	71	79	87	95	103	110	117	
70	787	691	603	526	460	405	361	325	296	273	253	237	223	475
	37	42	48	55	63	71	80	89	97	106	114	121	129	
75	777	685	601	527	464	412	370	336	308	284	265	249	235	500
	42	48	55	63	71	80	89	98	107	116	125	133	141	
79	773	683	602	530	470	420	378	345	317	294	275	258	244	520
	47	54	61	69	78	87	97	106	116	125	133	142	150	
85	754	668	592	526	470	424	385	354	327	305	286	270	256	545
	56	63	72	81	90	100	110	120	130	139	148	157	166	
90	723	644	574	514	463	420	385	356	331	310	292	277	263	560
	66	74	83	93	103	113	124	134	144	153	163	172	181	
95	712	636	570	513	466	425	392	363	339	319	301	286	273	580
	74	83	93	103	114	125	135	146	156	166	176	185	194	
100	689	619	558	506	462	425	393	367	344	325	308	293	280	595
	85	95	105	116	127	138	149	160	171	181	191	201	210	
105	684	617	559	509	467	431	401	375	353	334	317	302	289	615
	95	105	116	127	139	150	161	173	183	194	204	214	224	
110	655	594	542	497	459	426	399	375	354	336	320	306	294	625
	109	120	131	143	155	167	178	190	201	211	222	232	242	
115	642	586	537	495	459	429	402	380	360	342	327	313	301	640
	121	133	145	157	169	181	193	205	216	227	238	248	258	
120	621	569	525	487	454	426	402	380	362	345	331	317	306	650
	136	149	161	174	186	199	211	222	234	245	256	266	277	

2.2.9 Configuración eléctrica de los sistemas eléctricos de distribución

La configuración eléctrica se refiere a la condición de cómo se encuentran conectados físicamente los elementos eléctricos en un sistema de distribución, ya que dependiendo de la conexión el sistema eléctrico trabajará en diferentes condiciones como se muestran en la tabla 2-3 [1].

Tabla 2-3 Configuraciones eléctricas de la red de CFE

TIPO DE SISTEMA	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DESCRIPCIÓN GENÉRICA (No. DE HILOS)
A	Conexión estrella, con el neutro sólidamente conectado a tierra en la subestación; neutro corrido desde la subestación y multiaterrizado.		3F - 4H
B	Conexión estrella, con el neutro sólidamente conectado a tierra en la subestación.		3F - 3H*
C	Conexión estrella, con el neutro conectado a tierra a través de un reactor en la subestación.		3F - 3H*
D	Conexión Delta		3F - 3H*

*El sistema de retorno por tierra es un sistema B con una sola fase. Los sistemas C y D no son de uso normal en CFE.

Dependiendo del tipo de conexión eléctrico del sistema se obtienen las tensiones que comúnmente encontramos en los sistemas eléctricos de distribución como se pueden ver en la tabla 2-4 [1].

Tabla 2-4 Tensiones de acuerdo a los sistemas eléctricos

TIPO DESISTEMA No - DE HILOS TENSIÓN ELÉCTRICA
BAJA TENSIÓN MONOFÁSICO 120/240V
BAJA TENSIÓN TRIFÁSICO 220Y/127V
A 3F-4H 13,2Y/7,62kV
B 3F-3H 13,2kV
A 3F-4H 22,86Y/13,2kV
B 3F-3H 23kV
A 3F-4H 33Y/19,05kV
B 3F-3H 33kV

De acuerdo a la tabla 2-4 en los sistemas tipo “A” la tensión eléctrica entre fases se indica en el lado izquierdo de la diagonal y en el lado derecho indica la tensión de fase a neutro, excepto en el de 2f-3h en donde el orden es inverso.

Para los sistemas tipo “b” se indica únicamente la tensión eléctrica entre fases.

La tensión de utilización entre fases de los sistemas de distribución primarios es de 13,2; 23 y 33 kV, mientras que en las tensiones nominales de la subestación, son de 13,8; 24 y 34,5 kV en lo sucesivo, cuando se indique 13, 23 o 33 kV se está refiriendo a las tensiones eléctricas nominales del circuito.

2.2.10 Generalidades y criterios de diseño de líneas primarias

Se consideran estructuras de líneas de media tensión todas aquellas que soporten conductores cuya operación sea de 6 hasta 33 kV.

La identificación de las estructuras están codificadas con base al tipo, la posición de los diferentes niveles y número de conductores en la estructura. Esto facilita su sistematización en el momento de presupuestar o requerir materiales.

En líneas de media tensión se consideran tramos cortos los menores de 65 m y tramos largos los mayores de 65 m. Los primeros se construyen principalmente en zonas urbanas, puesto que están determinados por los tramos en instalaciones de baja

tensión, en tanto que los segundos se construyen por lo general en zonas rurales. Un tramo flojo, es un tramo de línea menor de 40 m donde la tensión mecánica de los conductores es menor al 40% de la indicada en las tablas de flechas y tensiones, como en la tabla 2-2, a la temperatura del lugar, en el momento de rematar.

Se consideran conductores ligeros hasta:

- Cobre 2 AWG
- ACSR 1/0 AWG
- AAC 3/0 AWG

Conductores de calibre mayor se consideran pesados.

El neutro corrido se puede instalar en la posición del cable de guarda y su uso está limitado a líneas rurales 3F-4H, ubicadas en regiones con alta incidencia de descargas atmosféricas o en casos especiales que lo requieran.

Antes de iniciar la construcción se debe formular un proyecto con base a las características del terreno, así como comprobar que no se excedan las limitantes de diseño de las estructuras.

Es recomendable que el proyecto y la construcción de más de un circuito en la misma estructura sólo se haga cuando los derechos de vía impidan la construcción normal. Si las tensiones de operación de los circuitos son diferentes, el de mayor tensión eléctrica debe ubicarse en la parte superior.

Debe evitarse el cruce de dos circuitos diferentes, si el cruce es del mismo circuito, debe reconfigurarse de manera tal que se elimine dicho cruce quedando un solo punto de alimentación.

Para identificar las fases debe respetarse la convención establecida de nombrarlas como A, B y C, de izquierda a derecha parado de frente a la fuente. Normalmente en las líneas de distribución no se requieren transposiciones. Cuando sea necesaria la interconexión entre circuitos donde cambie la posición de las fases, debe respetarse la forma de identificarlas.

En una estructura en donde se construyan dos niveles del mismo circuito por cambios de dirección o deflexión de la línea, el lado fuente debe estar en la parte superior de la misma, así como verificar manualmente que en el caso de movimiento

de los puentes por efectos de viento no se reduzcan las distancias mínimas establecidas.

La conexión de los transformadores monofásicos a la línea, se debe hacer proporcionalmente en las tres fases para que el circuito quede balanceado.

En condiciones de operación normal, el conductor de líneas de media tensión en disposición radial, no debe exceder el 50% de su capacidad de conducción.

Para condiciones de emergencia, el conductor se puede operar hasta el 75% de su capacidad. En el caso de que se tenga un punto de enlace entre circuitos, se debe considerar equipo de operación de apertura con carga. La regulación de voltaje permitida en líneas de media tensión partiendo desde la Subestación, debe ser del 5% máxima como se ejemplifica en la figura 2.16.

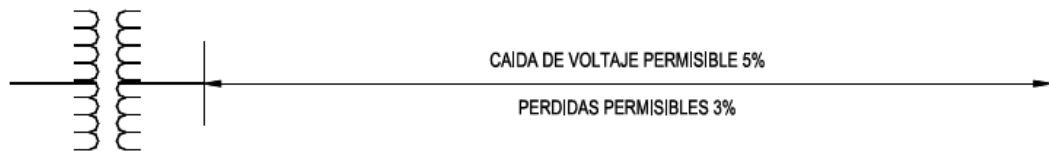


Figura 2.16 Límites permisibles de caída de tensión y pérdidas de potencia.

Las estructuras de deflexión tipo D se aplican principalmente en el área rural por su sencillez y alta resistencia mecánica.

La estructuras DP de deflexión de paso, se utilizará para deflexiones cuyos ángulos sean mayores a 25° hasta 60°; para la estructura DA, los ángulos permitidos serán a partir de 60° y hasta 90°, como se muestra en figura 2.17.

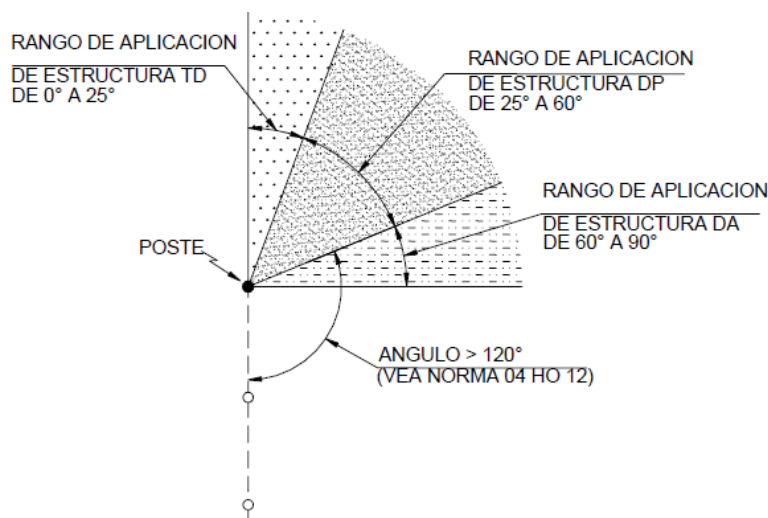


Figura 2.17 Ángulos máximos de aplicación para las diferentes estructuras.

Para el diseño de la estructura se considera la línea como un sistema formado por estructuras de: paso, deflexión anclaje y remate con tensiones mecánicas de cables iguales, de tal manera que en las estructuras de paso y deflexión las tensiones horizontales se encuentran en equilibrio.

Para estas estructuras no se incluyen tablas con limitantes, debido a que el perno ancla, ancla y empotramiento se realiza con la tensión mecánica de cables calculadas para estructuras de paso, por lo tanto los claros interpostales máximos para estas estructuras serán los mismos que para las estructuras TS.

En el análisis de crucetas por carga vertical se incluye adicionalmente 100 kg para considerar el peso de un liniero, éste es un requisito de la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones eléctricas (utilización).

Los postes de concreto trabajan a compresión y flexión, pero no con torsión, en la tabla 2-5 se muestran los valores límites para la utilización de postes y estructuras.

Tabla 2-5 Valores límites de flexión de los componentes mecánicos.

LÍMITE DE TRABAJO A LA FLEXIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS					
COMPONENTE	CARGA DE RUPTURA kg (N)	RESISTENCIA DE LA FIBRA A LA TENSIÓN kg/cm² (MPa)	LÍMITE DE FLUENCIA Fy kg/cm² (MPa)	FACTOR DE SEGURIDAD	RESISTENCIA DE TRABAJO kg (N)
POSTE PC-11-700	700 (6867)	-	-	2,0	350 (3434)
POSTE PC-11-500	500 (4905)	-	-	2,0	250 (2453)
POSTE PCR-12-750	750 (7358)	-	-	2,0	375 (3679)
CARGA- VERTICAL (PESO DE CONDUCTORES)					
CRUCETA PT-200	-	-	2320 (227)	1,5	255 (2501)
CRUCETA PT-250	-	-	2320 (227)	1,5	200 (1962)
CRUCETA PV-200	-	-	2320 (227)	1,5	295 (2894)
CRUCETA PV-250	-	-	2320 (227)	1,5	180 (1766)
CRUCETA PV-75	-	-	2320 (227)	1,5	445 (4365)
CRUCETA C4T	-	-	2530 (248)	1,5	559 (5484)
CRUCETA C4V	-	-	2530 (248)	1,5	360 (3532)
CRUCETA C4E	-	-	2530 (248)	1,5	930 (9123)
CRUCETA CMC-L	-	569 (55,8)	-	2,0	445 (4365)
CRUCETA CMC-LV	-	569 (55,8)	-	2,0	190 (1864)
CARGA HORIZONTAL (TENSIÓN DE CONDUCTORES)					
CRUCETA RV-200	-	-	3235 (317)	1,6	725 (7112)
CRUCETA RV-250	-	-	3235 (317)	1,6	425 (4169)
CRUCETA PR-200	-	-	3235 (317)	1,6	523 (5131)
CRUCETA C4R	-	-	2530 (248)	1,6	527 (5170)
CRUCETA CMC-P	-	569 (55,8)	-	3,0	394 (3865)
CRUCETA CMC-PV	-	569 (55,8)	-	3,0	610 (5984)

Perno del aislador es una barra de acero roscada, que cumple la función de sujetar el aislador, este perno solo trabaja a cortante debido a su posición y dirección de las cargas.

La capacidad de carga a cortante del perno se calculó siguiendo los lineamientos del manual de construcción en acero diseño por esfuerzos permisibles 4° edición (IMCA).

El material del perno se consideró con material ASTM A-307 grado C, con un:

- $F_y = 36 \text{ ksi}$ ($2531 \text{ kg/cm}^2 = 248,21 \text{ Mpa}$) esfuerzo de fluencia.
- $F_u = 58 \text{ ksi}$ ($4078 \text{ kg/cm}^2 = 399,90 \text{ Mpa}$) esfuerzo último.

El esfuerzo permisible = 700 kg/cm^2 (tabla 1.5.2.1 del IMCA)

Este permisible se incrementa en un 33%, debido a que los pernos soportan cargas accidentales (viento) $700 \times 1,33 = 931 \text{ kg/cm}^2$.

A continuación en la tabla 2-6 se muestran los valores límites de los esfuerzos mecánicos de un perno M16 que es el que se utiliza más comúnmente en la construcción de líneas electromecánicas.

Tabla 2-6 Valores límites de un perno M16.

DIAMETRO mm	AREA mm^2	PERMISIBLE A CORTANTE Mpa	CORTANTE DE TRABAJO N	PERMISIBLE A CORTANTE kg/cm^2	CORTANTE DE TRABAJO kg
M16	198	91,3058	18072	931	1843

Los aisladores de paso 13PD, 22PD y 33PD, tienen una resistencia a la flexión de 12500 N con perno M16, al aplicarle un factor de seguridad de 2 su resistencia de trabajo se estima en 6250 N, como $6250\text{N} < 18072\text{N}$, al conjunto perno-aislador se le dará una resistencia de 6250 N.

En las tablas de limitantes el claro interpostal del perno se calculó en base a la resistencia que se definió en el punto anterior, para estructuras TS el claro que resiste el perno se obtiene con la presión de viento sobre el cable como sigue: diámetro conductor x claro x presión de viento, el producto de estos factores produce una fuerza

que debe ser ≤ 6250 N, por tanteos se busca el claro que iguale la resistencia del perno. Para estructuras TD adicionalmente el perno debe soportar la componente transversal de la tensión máxima de los cables debida a la deflexión de la línea.

Las líneas eléctricas de media tensión aparte sus características eléctricas se conforman de una parte mecánica que le dará el sustento y mantendrá en pie, una parte fundamental son las estructuras que estarán en contacto con la línea y que dependiendo de la naturaleza topológica y los obstáculos que se encuentre en su trayecto se determinara que tipo de estructura será la más adecuada a utilizar

Las estructuras de paso sirven para soportar conductores de líneas primarias, utilizando postes de concreto, Las estructuras TS3N, TS3G, PS3N y VS3N forman este grupo, su principal característica es que soportan el peso propio de cables (sin absorber su tensión mecánica), el empuje de viento sobre los cables y poste, también soportan pequeñas tensiones mecánicas debido a una deflexión mínima de la línea, desde el punto de vista mecánico las cuatro estructuras son similares.

Entre las estructuras más comunes podemos describir las siguientes [1].

Estructura tipo “TS”

La estructura tipo TS como se muestra en figura 2.18, sirve para soportar conductores de líneas de media tensión sin absorber el esfuerzo de la tensión mecánica, solo los debidos al efecto de viento o pequeñas tensiones mecánicas como las del tramo flojo o alguna pequeña deflexión.

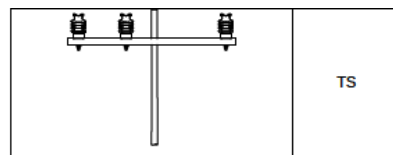


Figura 2.18 Estructura tipo TS.

Estructura tipo “TD”

La estructura TD se observa en la figura 2.19, se usa en líneas construidas con estructuras TS, para deflexiones mayores a las permitidas por la estructura TS, la estructura TD permite una deflexión hasta 25° , el claro máximo de esta estructura lo define la estructura TS, La deflexión máxima horizontal está limitada por la resistencia mecánica de la retenida que soporta el empuje del viento en poste y conducto res, así como la componente transversal de la tensión máxima de los cables debido a la deflexión de la línea.

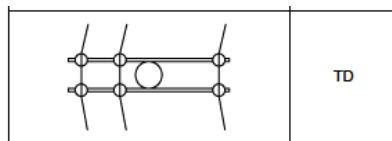


Figura 2.19 Estructura tipo TD.

Estructura tipo “PS”

La estructura tipo P se emplea en líneas rurales cuando las características del terreno lo requieran y se puede observar en la figura 2.20.

Por la separación entre fases que presenta esta estructura, puede tener un claro mayor al de la estructura TS.

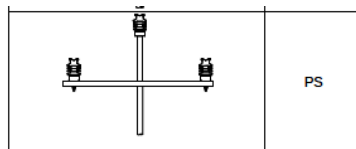


Figura 2.20 Estructura tipo PS.

Estructura tipo “PD”

En las líneas construidas con estructuras PS y/o TS y que requieran deflexiones mayores a las permitidas, se puede utilizar la estructura PD mostrada en la figura 2.21, la cual permite una deflexión hasta 25° .

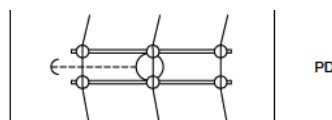


Figura 2.21 Estructura tipo PD.

Estructura tipo "RD"

La estructura tipo RD figura 2.22, se usa para rematar los conductores donde principia o termina la línea. El remate de los conductores se hace en cruceta, las estructuras RD se deben instalar en tangente.

Soporta las cargas verticales, transversales y longitudinales que transmiten los cables, así como el empuje del viento sobre el poste, sin embargo para el diseño rigen las cargas longitudinales de los cables.

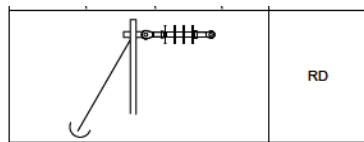


Figura 2.22 Estructura tipo RD.

Estructura tipo "AD"

La estructura AD como se observa en la figura 2.23, de anclaje para líneas de media tensión tiene como función aislar mecánicamente una línea con trayectoria recta, cambio de calibre y pequeñas deflexiones.

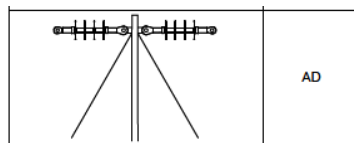


Figura 2.23 Estructura tipo AD.

Cuando el remate de los conductores se realice en el poste, el nombre genérico de esta estructura es AP (anclaje en el poste) esta estructura se utiliza para rematar conductor de cualquier calibre.

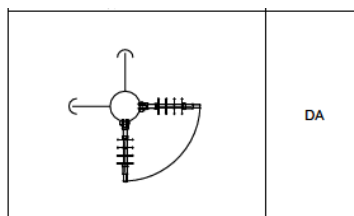


Figura 2.24 Estructura tipo DA.

Desde el punto de vista mecánico la estructura DA mostrada en la figura 2.24, es similar a la RD, en lo que se refiere al diseño de la retenida, de hecho ambas retenidas se diseñan con las mismas tensiones longitudinales que transmiten los conductores, por lo tanto aplican los criterios de diseño de esas estructuras.

Estructura tipo “VS”

La estructura tipo VS (volada), es típicamente urbana y se utiliza para dar libramiento horizontal a edificaciones o a algún tipo de obstáculo como anuncios, arbotantes, etc. y se muestra en la figura 2.25

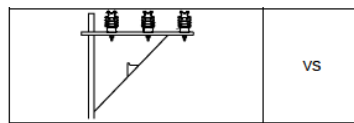


Figura 2.25 Estructura tipo VS.

Estructura tipo “VD”

La estructura tipo VD figura 2.26, cumple con la misma función que la VS pero la diferencia es que esta estructura soporta pequeñas deflexiones de la línea

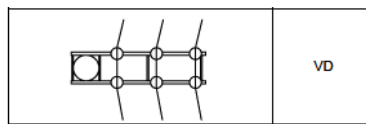


Figura 2.26 Estructura tipo VD.

Estructuras tipo “VR” y “VA”

Las estructuras VR y VA como se muestran en la figura 2.27, se diseñan con las mismas tensiones longitudinales de conductores de las estructuras RD y AD desde el punto de vista mecánico estas estructuras son similares.

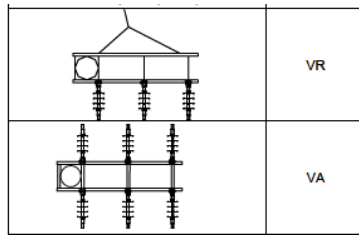


Figura 2.27 Estructura tipo VR y VA.

La retenida es un elemento mecánico que sirve para contrarrestar las tensiones mecánicas de los conductores en las estructuras y así eliminar los esfuerzos de flexión en el poste.

Las retenidas se instalan en sentido opuesto a la resultante de la tensión de los conductores por retener. Generalmente se deben de anclar en el piso con un ángulo de 45° , como se muestra en figura 2.28; para colocarlas en ángulos diferentes se deben analizar los esfuerzos mecánicos.

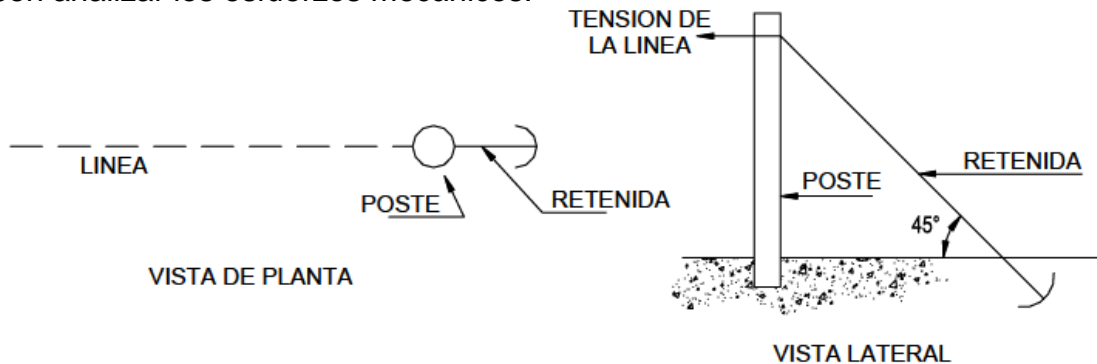


Figura 2.28 Retenida sencilla de ancla.

Para estructuras RD, AD y DA, las retenidas se colocan en la dirección de la línea, para contrarrestar la tensión horizontal de los cables.

Para estructuras en deflexión como la TD, PD, VD, y DP, las retenidas se colocan en la dirección del ángulo bisectriz figura 2.29, para contrarrestar la componente transversal de la tensión máxima de los cables debida a la deflexión de la línea. Las retenidas para instalaciones de media y baja tensión en una misma estructura, son independientes y comunes al mismo perno ancla.

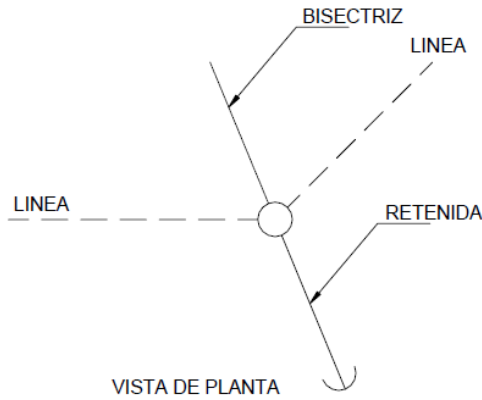


Figura 2.29 Retenida sencilla de ancla orientada a la bisectriz de la línea.

La codificación de las retenidas está compuesta por tres dígitos alfabéticos; el primero será la letra R de retenida y los dos siguientes dígitos son indicativos del nombre del tipo de retenida, anotándose en estos la primera letra de las palabras que la describen, tal como se indica en la figura 2.30:

DISPOSICIÓN DE RETENIDAS	CLAVE	NOMBRE	DISPOSICIÓN DE RETENIDAS	CLAVE	NOMBRE
	RSA	Retenida sencilla de ancla		RBA	Retenida de banqueta y ancla
	RDA	Retenida doble de ancla		RVP	Retenida volada a poste y ancla
	RPA	Retenida a poste y ancla		RVE	Retenida volada a estaca y ancla
	REA	Retenida a estaca y ancla		RPP	Retenida poste a poste

Figura 2.30 Diferentes tipos de retenidas.

El diseño de la retenida se basa en las siguientes hipótesis:

- El poste tiene una gran resistencia a compresión, y se desprecia su resistencia a la flexión, por lo tanto el poste solo toma cargas de compresión.

- La retenida solo toma cargas de tensión.
- Aplicando principios de la estática, se evalúan las cargas que transmiten los cables a la retenida, conservando el equilibrio de fuerzas como sigue: el poste toma la componente vertical, los cables conforman la componente horizontal y la retenida absorberá la resultante.

2.2.10.1 Trazos y libramientos

Para el diseño de una red eléctrica de distribución es de suma importancia considerar las normativas y distancias mínimas de estas ya que son este tipo de circuitos los que mantienen un contacto directo con la población tomando en cuenta las condiciones que inciden en su construcción y que básicamente es la seguridad de la población, protección al medio ambiente, urbanización, derechos de vía, niveles del terreno, libramientos y obstáculos naturales o artificiales. El primer factor para construir una línea es el conocimiento detallado del entorno, para lo cual es necesario analizar las condiciones del terreno y definir la alternativa técnico-económica más conveniente [10].

El proyecto para la construcción de las instalaciones debe considerar: la menor longitud, menor número de estructuras, operación simple y segura, costo mínimo de mantenimiento, para asegurar el cumplimiento de los compromisos de suministro ofertados a los clientes; debiendo prever y valorar los puntos siguientes.

1. Para salvaguardar la integridad y propiedad de la población.
2. Considerar la protección al medio ambiente: analizando trayectorias más convenientes para minimizar el impacto del entorno.
3. Respecto a los derechos de particulares: en el área urbana por ningún motivo se debe construir en terreno de particulares. En área rural se debe obtener el consentimiento por escrito del propietario.
4. Falta de urbanización: cuando no exista urbanización definida en el terreno, se deben obtener los planos autorizados por la autoridad competente, para conocer la urbanización definitiva de los sectores por electrificar.
5. Tramos rectos: minimizar el número de deflexiones de la línea.

6. Fácil acceso: para la construcción, operación y mantenimiento de la línea; preferentemente utilizando los derechos de vía pública.
7. Evitar obstáculos: de edificios, árboles, líneas aéreas y subterráneas de comunicación y anuncios.
8. Considerar la orografía: antes del levantamiento analizar el trazo más conveniente.
9. Determinar puntos obligados: para distribuir tramos interpostales, en base a deflexiones y/o desniveles de terreno.
10. Evitar puntos de contaminación: principalmente en la proximidad de zonas costeras e industrias contaminantes.
11. Prever impactos en los postes: con base a la afluencia vehicular y sus características determinar el trazo y tipo de estructura a utilizar.
12. Considerar la instalación de equipo de protección, bancos de capacitores y regulación, conexión y desconexión, para la operación y mantenimiento de las instalaciones. Reducir cruces: con otros derechos de vía, como vías férreas, carreteras y canales navegables.
13. Cruce con vías de comunicación: se debe efectuar el trámite ante la autoridad competente, para obtener el permiso correspondiente.

A continuación en la tabla 2-7 se puede apreciar las distancias entre las distancias de separación entre las estructuras y las construcciones

Tabla 2-7 Distancias de libramiento de las estructuras de la infraestructura eléctrica.

	Construcciones						
	Horizontal (m)		Vertical (m)			Anuncios, chimeneas, antenas y tanques de agua (m)	
	B		A	C		B	A
	Espacios no accesibles a personas	Espacios accesibles a personas (3)	Espacios no accesibles a personas (3)	Espacios accesibles a personas (3)	Sobre Techos accesibles a tráfico vehicular	Horizontal	Vertical
Retenidas, hilos de guarda, neutros y cables eléctricos aislados 0 a 750 V	1,40 (1)	1,40 (1)	0,90	3,2	4,7	0,90	0,90
Cables suministradores de mas de 750 V aislados y conductores de desnudos de 0 a 750 V	1,70 (1)	1,70 (1)	3,2	3,5	5,0	1,70(1)	1,80
Conductores suministradores de línea abierta de 750 V a 23 kV	2,30 (2)	2,30	3,8	4,1	5,6	2,30(1)	2,45
Conductores suministradores de línea abierta a 33 kV	2,50	2,50	4,0	4,3	5,8	2,5	2,5
Partes vividas rígidas no protegidas de mas de 750 V a 33 kV	2,0 (2)	2,0	3,6	4,0	5,5	2,0(4)	2,30

La información de la tabla 2-7 se muestra en la figura 2.31.

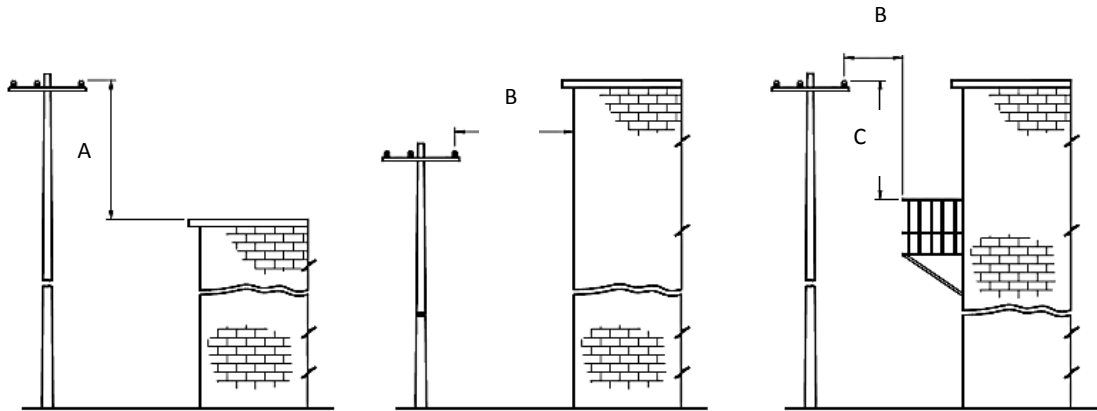


Figura 2.31 Distancias mínimas entre construcciones y conductores eléctricos.

Alturas mínimas que deben guardar los conductores con respecto al suelo, agua y a la parte superior de rieles se observan en la figura 2.32

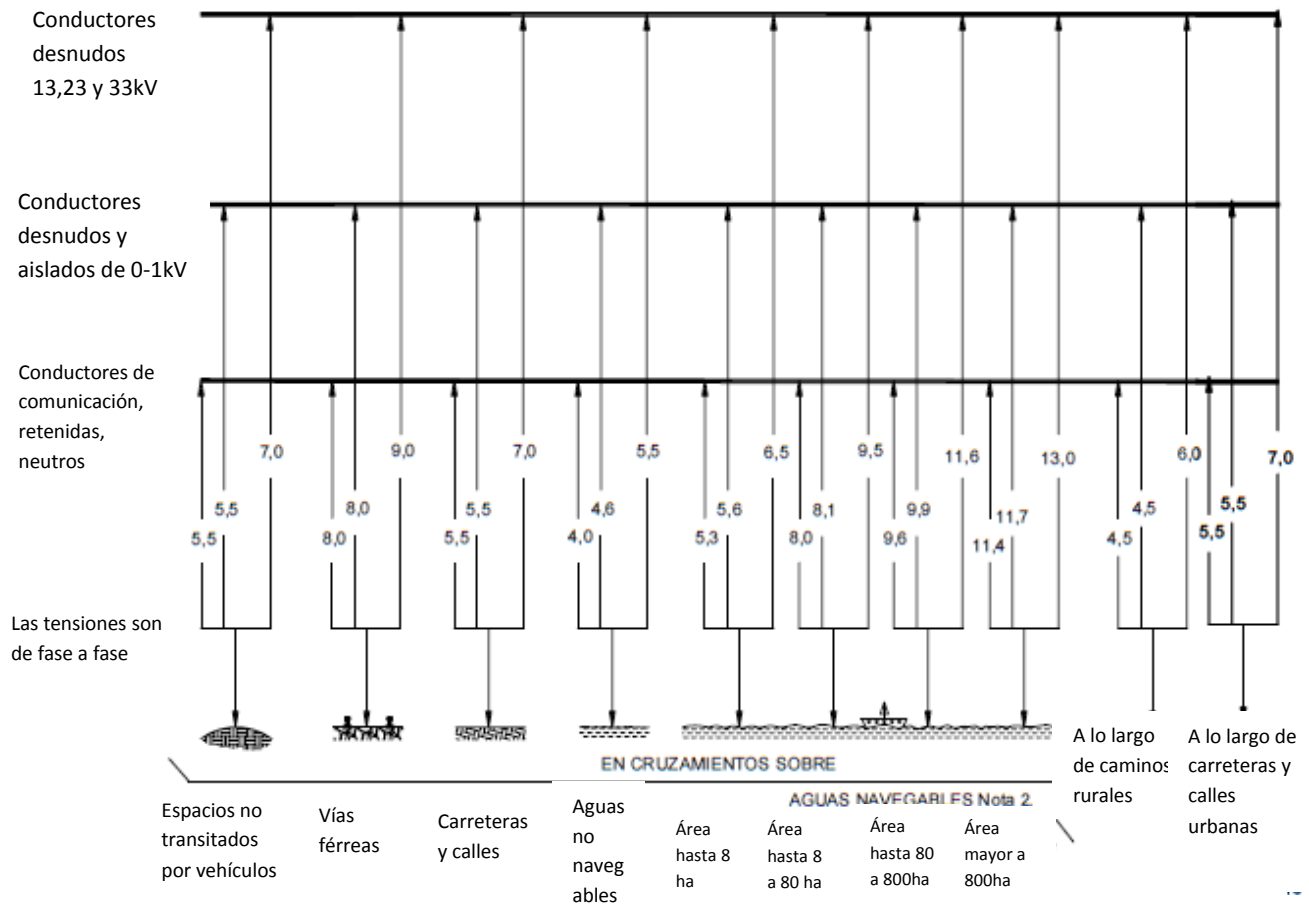


Figura 2.32 Alturas mínimas de libramientos de conductores eléctricos.

En cuanto a la separación de los conductores eléctricos de media y baja tensión se tienen las siguientes condiciones como se muestra en la figura 2.33

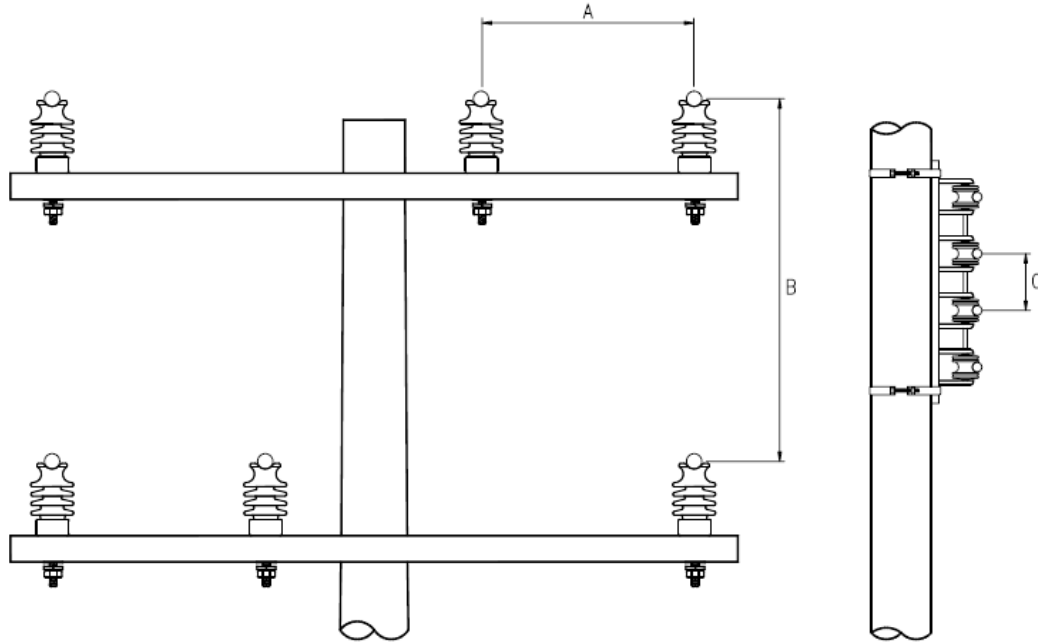


Figura 2.33 Distancia de separación entre conductores de un mismo sistema eléctrico y diferente sistema.

La tabla 2-8 muestra los valores de separación de conductores de la figura 2.33 en centímetros

Tabla 2-8 Distancias de separaciones horizontales y verticales entre conductores eléctricos y de comunicación.

		DESCRIPCIÓN	0-1 kV	13 kV	23 kV	33 kV
A Notas 1 y 6	Separación horizontal entre conductores del mismo o diferente circuito		30	35	45	56
B Notas 2 y 3	Separación vertical siendo el conductor inferior de:	Comunicación	100 Nota 11	100	150	150
		Comunicación, utilizado en la operación de líneas eléctricas	40 Nota 11	40	100	100
		0-1 kV	40 Nota 11	40	140	140
		13 kV	*	140	140	140
		23 kV	*	140	140	140
		33 kV	*	-	-	140

En el diseño de líneas eléctricas de media tensión se deben considerar aspectos tanto eléctricos como mecánicos, es importante dimensionar adecuadamente la infraestructura eléctrica de acuerdo a las características de la carga que se va alimentar así como la correcta elección de la parte mecánica de acuerdo a la topología y obstáculos encontrados en la trayectoria de dichas líneas. La construcción electromecánica de líneas eléctricas en la optimización de redes de distribución, se lleva a cabo cuando la infraestructura existente es insuficiente para mantener valores óptimos de operación, por esta razón es importante conocer los factores que influyen en el diseño de líneas cuando se realizan proyectos de optimización de redes eléctricas

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

En este capítulo se procederá a la elaboración del estudio eléctrico y mecánico de los circuitos de media tensión de la subestación JUANDHO para poder identificar la problemática y hacer propuestas de solución ante la problemática.

Actualmente el área de influencia de la subestación de distribución JUANDHO se encuentra en muy malas condiciones, dando un pésimo servicio de energía eléctrica en algunos puntos, en dicha área de influencia se tienen un problema muy fuerte de calidad en la energía así como confiabilidad en la continuidad de suministro, debido en gran medida a que cuenta con 7 circuitos que cubren grandes extensiones de terreno y que en algunos casos dan vueltas kilométricas para alimentar su carga esto en cuanto a la calidad de la energía, en lo que se refiere a confiabilidad estos 7 circuitos se encuentran en condiciones precarias operando de forma radial en la mayoría de sus líneas ocasionando que las interrupciones y el restablecimiento en estos circuitos sea muy prolongado.

La subestación JUANDHO de 60 MVA's de capacidad y relación de transformación de 85/23 kV tuvo una demanda máxima de 47 MW en el año 2016 y se pronostica que en un periodo estimado de 10 años este llegando a valores preocupantes en cuanto a capacidad, esta subestación está conformada por 2 bancos de transformación de 30 MVA's dando salida actualmente a 7 circuitos en una tensión de 23 kV, estos circuitos cubren grandes extensiones de terreno que en algunos casos exceden los 100km de longitud con ramales importantes en configuración radial por lo que se tienen salida de circuitos por falla ocasionando un mal suministro de energía eléctrica afectando a miles de usuarios.

Como ya se ha comentado el área de influencia de la subestación de distribución JUANDHO cubre una gran extensión de terreno en donde se encuentran situadas muchas poblaciones que en su mayoría se trata de comunidades rurales, dicha subestación se encuentra ubicada en el estado de Hidalgo como se muestra en la figura 3.1.

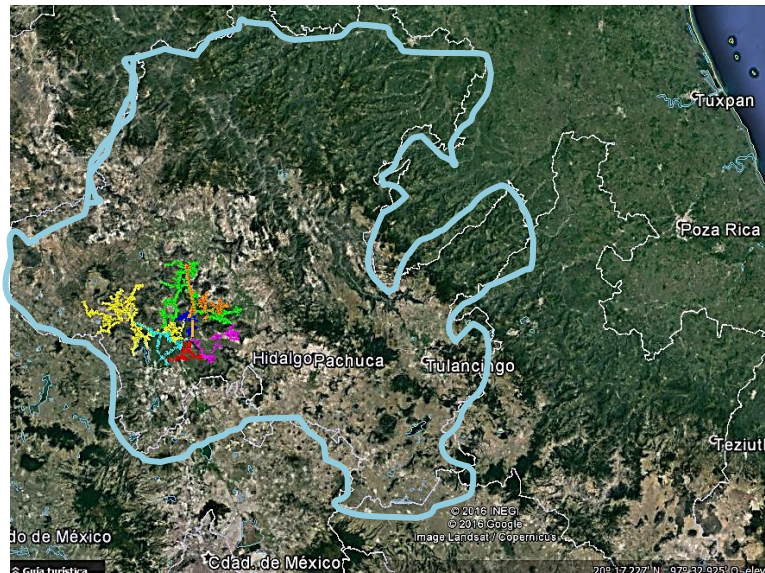


Figura 3.1 Macro localización del área de influencia de la subestación JUANDHO.

Los circuitos de media tensión de la subestación JUANDHO recorren grandes extensiones de terreno como se muestra en figura 3.2

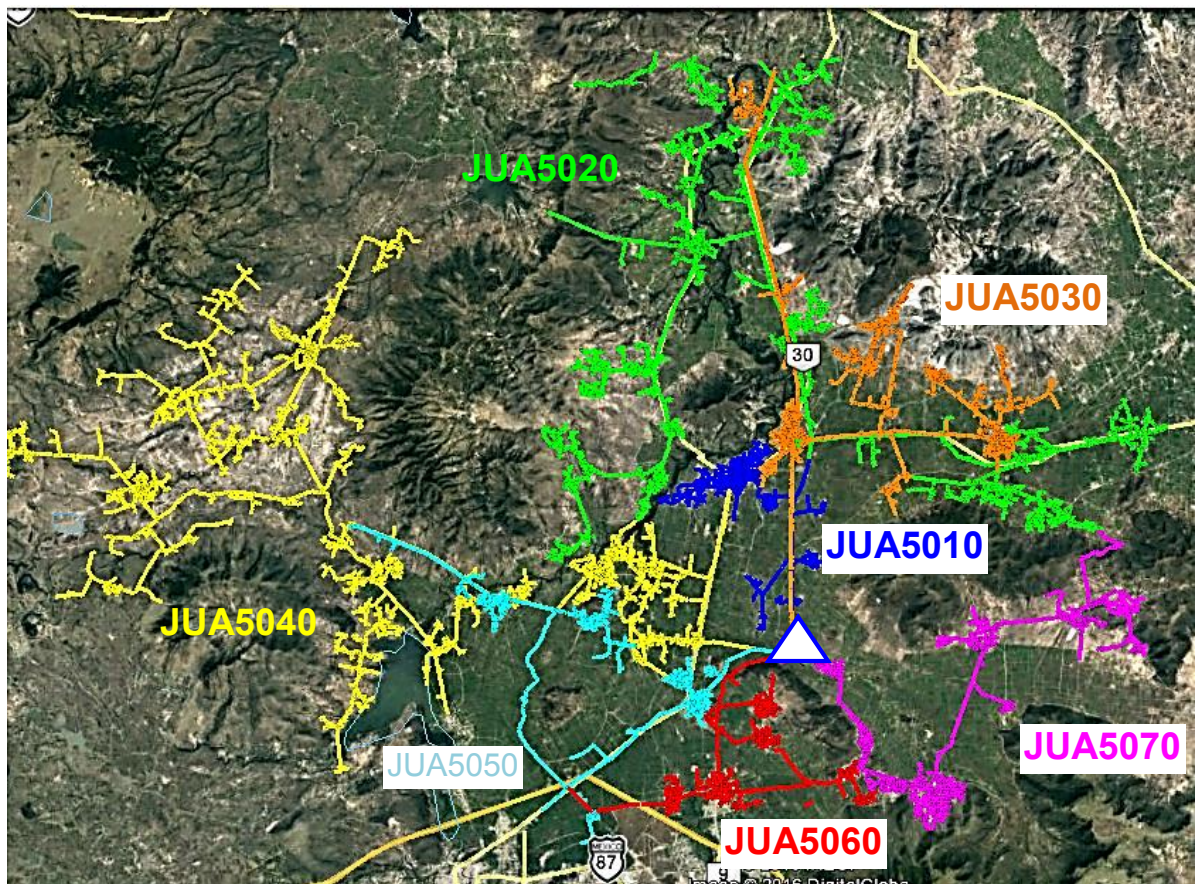


Figura 3.2 Ubicación geográfica del área de influencia subestación Juandho.

Por los motivos expuestos anteriormente el presente trabajo se centrara en realizar el estudio del área de influencia de la subestación de distribución JUANDHO y sus condiciones de suministro, para así determinar las medidas necesarias con el fin de optimizar el área de la subestación en cuestión.

3.1 Optimización de un área de distribución

Para optimizar un área de influencia de una subestación de distribución se analizan las siguientes acciones, y dependiendo de la situación de cada circuito, se llevaran a cabo para el correcto suministro de energía eléctrica [10].

- **Balanceo de circuitos**

Esta parte se refiere a que en un sistema trifásico las tres fases tengan el mismo valor de carga conectada a cada una de ellas con una tolerancia máxima de 5% de desbalance entre ellas.

- **Reordenamiento de circuitos**

Se refiere a obtener la trayectoria más corta de un circuito para alimentar su carga y así disminuir perdidas de energía y caída de tensión por exceso en la distancia de viaje de la energía.

- **Transferencias de carga**

Consiste en transferir carga de un circuito a otro, con el fin de equilibrar los circuitos en cuanto a demanda y con esto reducir pérdidas de energía y caída de tensión por sobrecarga en los circuitos.

- **Inclusión de equipo eléctrico**

Se refiere a conectar equipo eléctrico en las líneas de media tensión como capacitores, reguladores y restauradores para lograr el mejor funcionamiento de las cargas de manera confiable, mejorando la calidad y aseguramiento del suministro de energía eléctrica.

- **Construcción de enlaces**

La construcción de infraestructura eléctrica como se ha visto en el capítulo anterior, requiere cumplir con distintas normas y criterios de construcción, dicha construcción de enlaces es indispensable en áreas de distribución donde se carece de infraestructura eléctrica, para de este modo habilitar de manera física el flujo de la energía y poder hacer transferencias, lograr trayectorias más cortas o tenerlo como respaldo de energía en condiciones de contingencia.

3.1.1 Construcción de nuevos alimentadores

Al identificarse una sobrecarga existente o próxima en donde la infraestructura sea insuficiente es cuando surge la necesidad de la construcción de un nuevo alimentador, dicha construcción comprende desde la inclusión de un nuevo interruptor en la subestación de distribución hasta la habilitación de una nueva línea troncal para poder repartir la carga, generalmente se planifican con anticipación al tener un pronóstico adecuado del crecimiento normal de carga o al haber solicitudes de usuarios importantes (cargas industriales).

3.1.2 Límites de operación de los circuitos eléctricos de distribución

En la Comisión Federal de Electricidad de Distribución se cuenta con parámetros establecidos de operación de los circuitos los cuales habrá que cuidar no sean rebasados para tener un buen suministro de energía eléctrica, es así como se analiza un sistema eléctrico en base a dichos parámetros que para efectos de operatividad se aplicaran en el presente trabajo siendo los mostrados en la tabla 3-1

Tabla 3-1 Límites permisibles para la operación de circuitos eléctricos de distribución.

Demanda	< 7500 kW para un sistema de 23 kV
Caída de tensión	+ - 5% del voltaje nominal
% Perdidas de energía	< 2%
Factor de Potencia	>0.95

3.2 Conocimiento de sistema eléctrico bajo estudio

Como primer paso se tiene que realizar un diagnóstico de las condiciones de operación del sistema eléctrico bajo estudio para determinar en qué condiciones se encuentra y así poder proponer opciones de solución y que para realizar dicho diagnóstico intervienen diversos factores que afectan directamente a un sistema eléctrico, esta información es vital para poder hacer el estudio y se enlista a continuación:

- 1.-Líneas (aéreas y subterráneas).
 - a). Localización.
 - b). Distancias.
 - c) Calibre de conductor.
 - d) Faseo.

2. Usuarios importantes.
 - a. Localización.
 - b. Capacidad en kVA.
 - c. Demanda contratada.

3. Transformadores de distribución
 - a. Localización.
 - b. Capacidad en kVA.
 - c. Conexión de fases.

4. Bancos de capacitores en derivación.
 - a. Localización.
 - b. Capacidad kVAr.
 - c. Conexión de fases.

5. Reguladores de voltaje.
 - a. Localización.

- b. Conexión de fases.
6. Interruptores.
- a. Localización.
 - b. Estado normal abierto/cerrado.

3.3 Determinación de los parámetros eléctricos de los circuitos de la subestación JUANDHO

3.3.1 Modelado en condiciones actuales

Para llevar a cabo el análisis de las condiciones de operación de los circuitos se realizan corridas de flujo a partir de simulaciones que son realizadas con el simulador Synergie Electric [2], software que se utiliza en la Comisión Federal de Electricidad distribución, el cual hace uso de una base de datos que contiene toda la información eléctrica de los circuitos de distribución, esta base de datos se modela en el software y se realizan corridas de flujo para obtener los resultados de interés como se muestra en la figura 3.3.

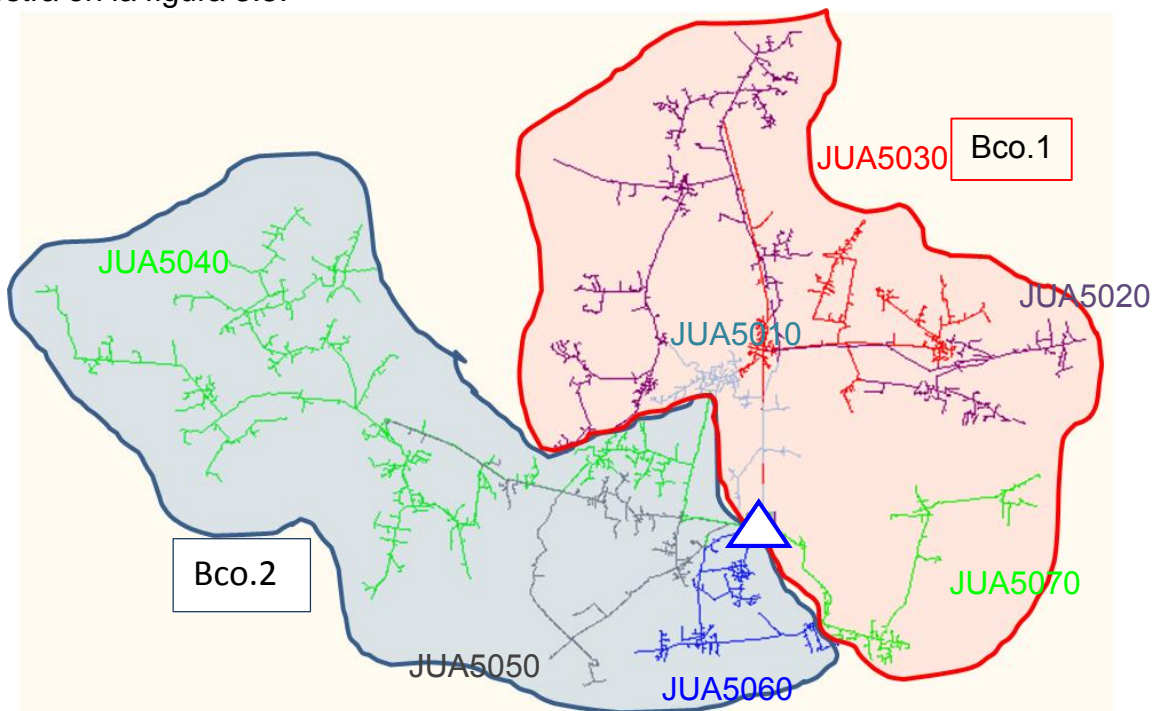


Figura 3.3 Circuitos en media tensión de la subestación JUANDHO.

3.3.2 Circuito JUA5010 “Cañada”

El circuito eléctrico de distribución con nomenclatura JUA5010 lleva por nombre “Cañada” ya que esta población es de las primeras poblaciones donde se abastece de energía eléctrica, es el circuito de más reciente creación, entro en operaciones a principio del 2013 por esta razón es el circuito menos cargado y que se utilizara para poder realizar transferencias con otros circuitos de la subestación JUANDHO, en la figura 3.3 se muestra el modelado de las líneas eléctricas de media tensión de dicho circuito.



Figura 3.4 Modelado del circuito JUA5010 en el software Synergie Electric.

Una vez teniendo el modelo cargado con la información eléctrica en cuanto a demanda y reactivos se realizan las corridas de flujos obteniendo la información de la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5010 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeder JUA 5010 CAÑADA						
JUA 5010 CAÑADA	4914	33	4914	100	83	1.70

En la tabla 3-2 representa los resultados obtenidos de las simulaciones en cuanto a pérdidas de potencia en el circuito, cabe destacar que la demanda en kW y kVA son ingresados al modelo manualmente y que esta información es obtenida de las mediciones de los medidores que se encuentran al inicio de los circuitos, estas mediciones son las máximas alcanzadas en el año del 2016.

Otra información de interés para determinar si los circuitos eléctricos están operando dentro de valores permisibles es el porcentaje de regulación del voltaje, en la tabla 3-3 se pueden observar los valores en porcentaje máximos y mínimos del voltaje que se distribuye a lo largo del circuito.

Tabla 3-3 Valores de voltaje del circuito JUA5010 en condiciones actuales.

Src	Min/Max Metric	Bal/Tot	
		Sect	val
Feeder JUA 5010 CAÑADA			
	Max loading %	OH_399178	23.27
	Min Volts	OH_398962	97.81
	Max Volt Drop	OH_399177	0.49
	Max kW Loss	OH_399177	23.51
	Max Volts	OH_399178	99.95

En donde los colores representan el nivel de voltaje, como podemos ver a medida que la línea se va alejando de la fuente de energía eléctrica esta disminuye en sus valores de voltaje.

3.3.3 Circuito JUA5020 “Chilcuautila”

Este circuito eléctrico es el más extenso de todos los que pertenecen a la subestación bajo estudio, con más de 100 km de longitud alimenta a numerosas poblaciones siendo una de las más importantes la población de Chilcuautila misma que da nombre a este circuito, a continuación se muestran las características de este extenso circuito.

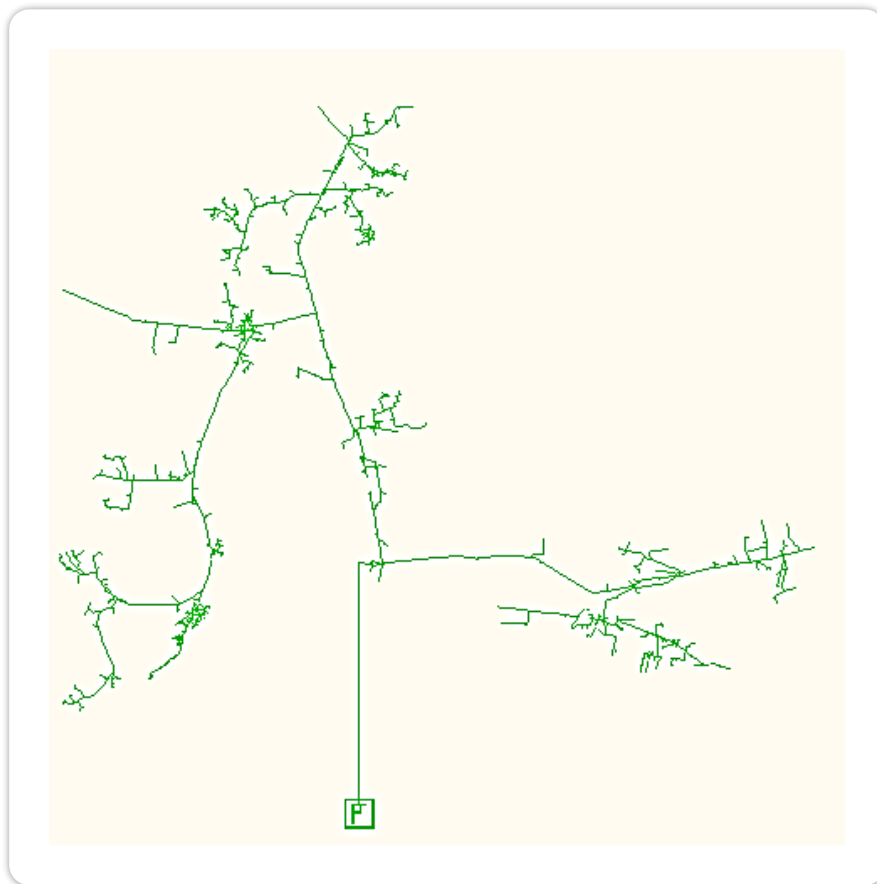


Figura 3.6 Modelado del circuito JUA5020 en el software Synergee Electric.

Al realizar las corridas de flujo del circuito JUA5020 se tienen los resultados de la tabla 3-4 en cuanto a pérdidas de potencia.

Tabla 3-4 Valores de parámetros eléctricos del circuito JUA5020 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss		Feeder
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%	
Feeders for JUA 52010							
JUA 5020 CHILCUAUTLA	6967	1415	7109	98	434	6.23	

Como se puede observar este circuito en comparación al anterior presenta una mayor demanda lo cual se ve reflejado en las perdidas de potencia que son del orden de 434 kW lo que representa un 6.23 % con lo cual se está incumpliendo en el parámetro de pérdidas de potencia en donde el límite es el 2 %.

En cuanto a los valores de voltaje se tienen los resultados de la tabla 3-5.

Tabla 3-5 Valores de voltaje del circuito JUA5020 en condiciones actuales.

Min/Max Src	Metric	Bal/Tot	
		Sect	val
Feeder JUA 5020 CHILCUAUTLA			
	Max loading %	OH_399157	45.09
	Min Volts	OH_399717	90.23
	Max Volt Drop	Section_4722310436	1.51
	Max kW Loss	Section_4722310436	80.20
	Max Volts	OH_399105	99.06

Como ya se había comentado este circuito es uno de los más extensos, por esta razón tiene instalado en su trayectoria un regulador de voltaje que como se verá más adelante no está bien ubicado y da como resultado una elevada caída de tensión la cual se obtiene de la siguiente manera.

$$CT = 99.06 - 90.23 = 8.83 \quad (15)$$

Para detectar zonas con problemas de caída de tensión que incumplan con los límites modelamos el circuito por colores de acuerdo a sus valores de porcentaje de voltaje como se muestra en la figura 3.7

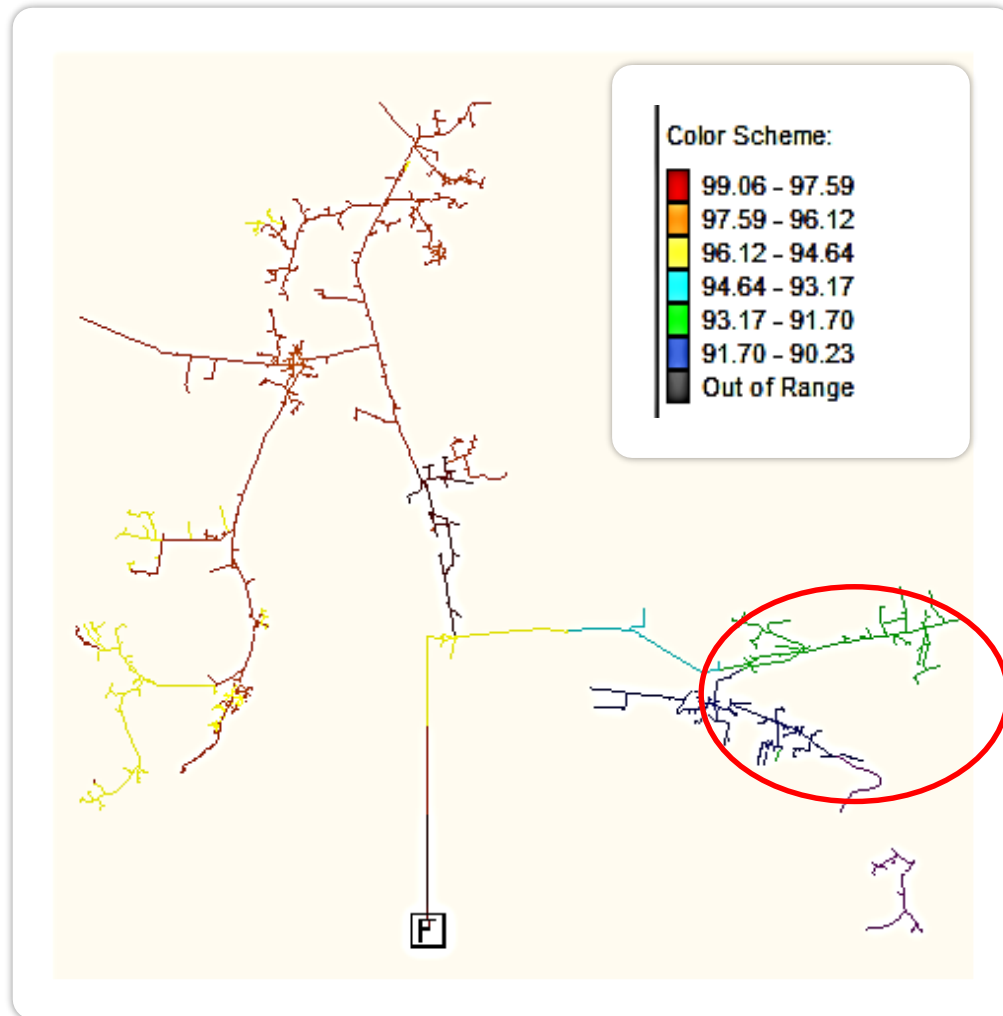


Figura 3.7 Modelado del circuito JUA5020 por caída de tensión.

3.3.4 Circuito JUA5030 “Progreso”

El circuito denominado JUA5030 es el que actualmente presenta mayor sobrecarga ya que suministra energía eléctrica a poblaciones con el mayor número de habitantes además alimenta la mayor parte de la carga industrial del área esto provoca que su factor de carga se elevado múltiples deficiencias en la distribución de la energía eléctrica a lo largo de su trayectoria.

El modelado de sus líneas eléctricas en media tensión se muestra en la figura 3.8

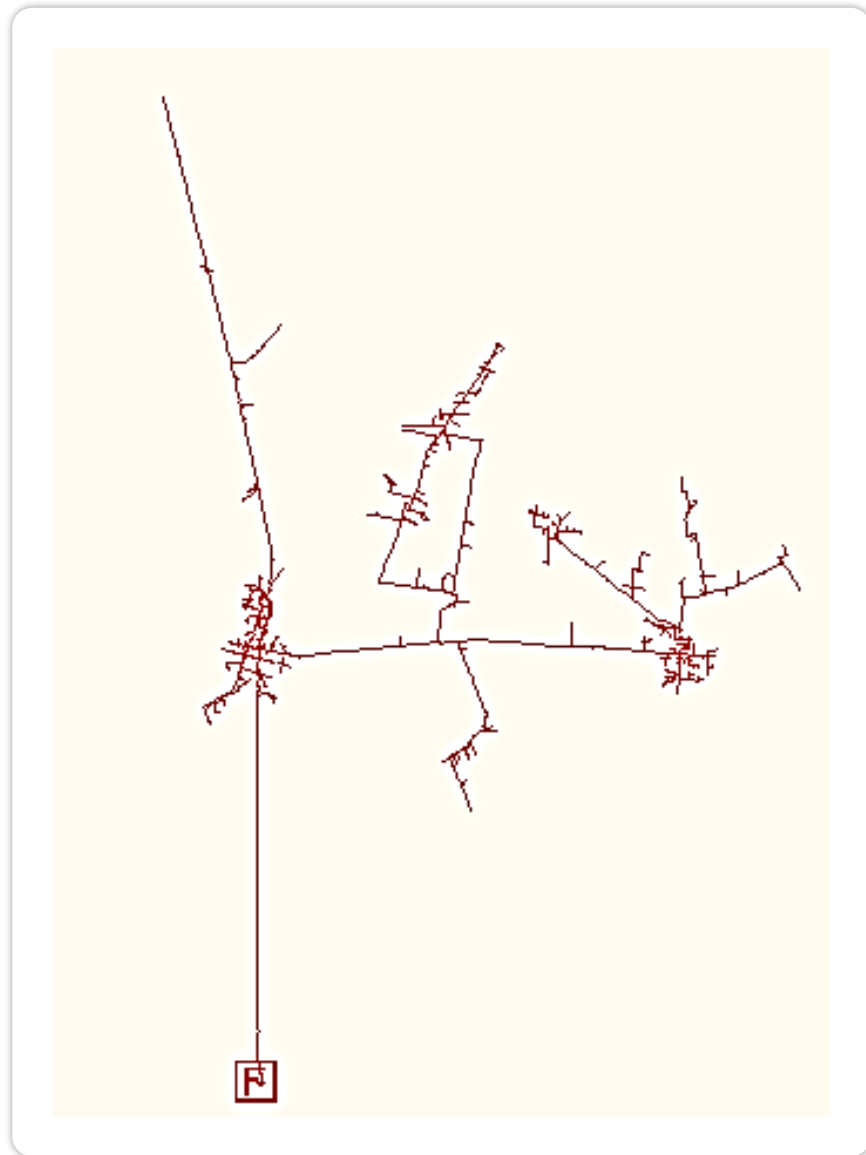


Figura 3.8 Modelado del circuito JUA5030 en el software Synergie Electric.

Al realizar las simulaciones del circuito JUA5030 se obtienen los resultados de las pérdidas de potencia mostrados en la tabla 3-6.

Tabla 3-6 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5030 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeder JUA5030 PROGRESO						
JUA05030 PROGRESO	10078	2938	10498	96	642	6.37

Con estos resultados se observa que comparado con los dos circuitos anteriores este circuito se encuentra sobrecargado con una demanda superior a los 10000 kW superando el parámetro en cuanto a demanda que se tiene de 7500 kW y es por esta sobrecarga que las pérdidas de potencia se multiplican dando 642 kW que representan el 6.37 %.

Así mismo el producto de la sobrecarga presente en el circuito los resultados de voltaje también se están viendo afectados como se puede ver en la tabla 3-7 superando el valor límite de 5 %.

Tabla 3-7 Valores de voltaje del circuito JUA5030 en condiciones actuales.

Src	Min/Max Metric	Bal/Tot	
		Sect	val
Feeder JUA05030 PROGRESO			
	Max loading %	OH_406423	54.90
	Min Volts	OH_406261	94.66
	Max Volt Drop	OH_406333	1.05
	Max kW Loss	OH_406412	67.65
	Max Volts	OH_406402	100.61

En cuanto a la caída de tensión se tiene el siguiente resultado.

$$CT = 100.61 - 94.66 = 5.95 \quad (16)$$

Para detectar las zonas en donde se está superando el límite permisible de caída de tensión se simula el circuito para mostrar las secciones por colores de acuerdo a los valores de voltaje como se observa en la figura 3.9.

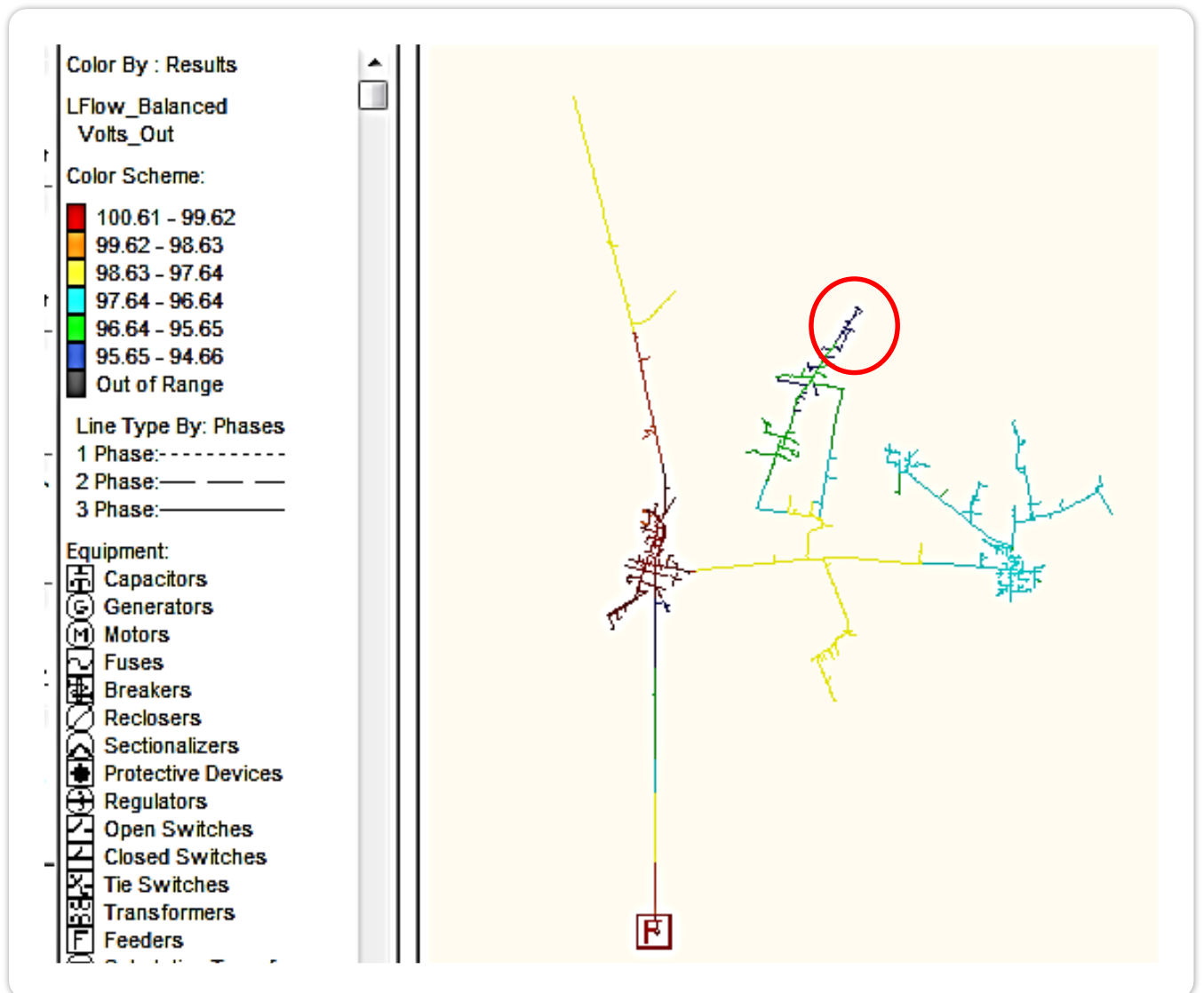


Figura 3.9 Modelado del circuito JUA5030 por caída de tensión.

3.3.5 Circuito JUA5040 “Tezontepec”

Este circuito eléctrico junto con el circuito JUA5020 es el más extenso superando los 100 km de longitud, abastece de energía eléctrica a numerosas poblaciones y cuya carga más pesada es de algunos rebombes tanto de la empresa paraestatal PEMEX como de pozos de riego que se presentan a lo largo de su trayectoria.

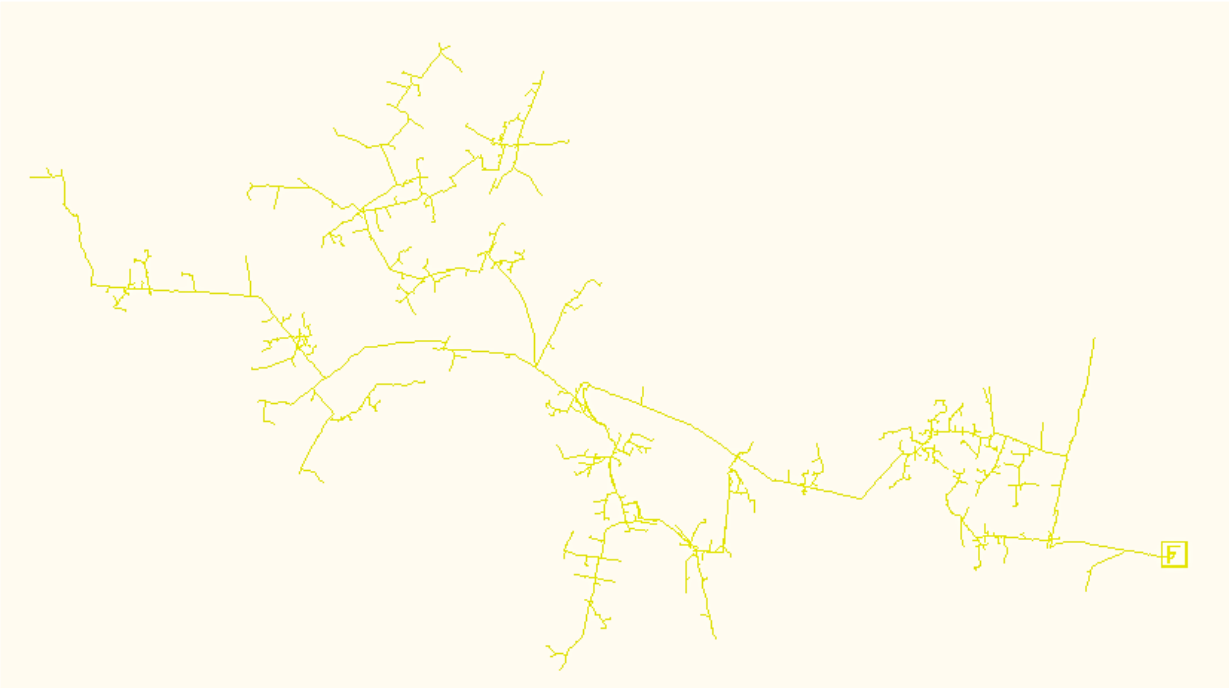


Figura 3.10 Modelado del circuito JUA5040 en el software Synergie Electric.

Al modelar este circuito en el simulador y hacer las corridas de flujo correspondientes se obtienen los resultados de pérdidas de potencia de la tabla 3-8.

Tabla 3-8 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5040 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeders for JUA 52020						
JUA 5040	9774	1392	9873	99	469	4.79

Este circuito también sobrepasa los límites permisibles de cargabilidad, con un valor de 9774 kW razón por la cual tiene un elevado porcentaje de pérdidas de potencia que representan el 4.79 %.

Tabla 3-9 Valores de voltaje del circuito JUA5040 en condiciones actuales.

Min/Max		Bal/Tot	
Src	Metric	Sect	val
Feeder JUA 5040			
	Max loading %	OH_405171	46.77
	Min Volts	OH_405069	94.57
	Max Volt Drop	OH_405175	0.87
	Max kW Loss	OH_405175	72.96
	Max Volts	OH_402119	100.72

Al ser un circuito muy extenso cuenta con un banco de reguladores el cual atenúa un poco la caída de tensión, pero no lo suficiente para mantenerlo en condiciones óptimas.

$$CT = 100.61 - 94.66 = 5.95 \quad (17)$$

Para identificar las zonas con mayor caída de voltaje se simula el circuito en cuanto a valores de voltaje como en la figura 3.11

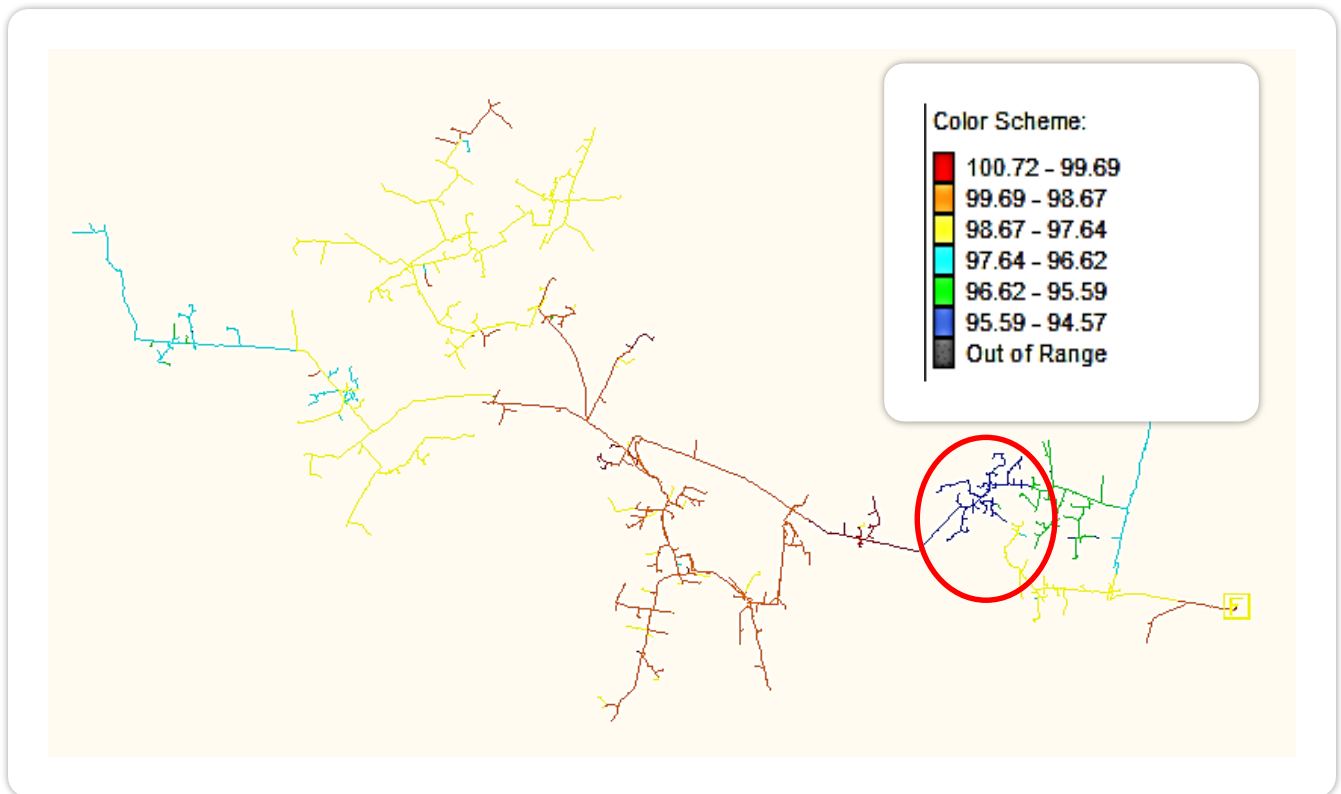


Figura 3.11 Modelado del circuito JUA5040 por caída de tensión.

Para el caso de la caída de tensión de este circuito el valor máximo se presenta al centro del mismo, esto es por la razón de que actualmente tiene instalado un equipo de regulación que afecta notoriamente los valores de voltaje antes y después del equipo.

3.3.6 Circuito JUA5050 “Tlahuelilpan”

El circuito JUA5050 alimenta a numerosas poblaciones en su recorrido y tiene la particularidad que el final del circuito, alimenta a un usuario importante que es una estación de rebombeo de la empresa paraestatal PEMEX que es la más grande y representa un porcentaje importante de la demanda del circuito, otra particularidad de este circuito es que su trayectoria no es la más óptima dando vueltas kilométricas innecesarias lo que ocasiona deficiencias en el suministro de energía eléctrica.

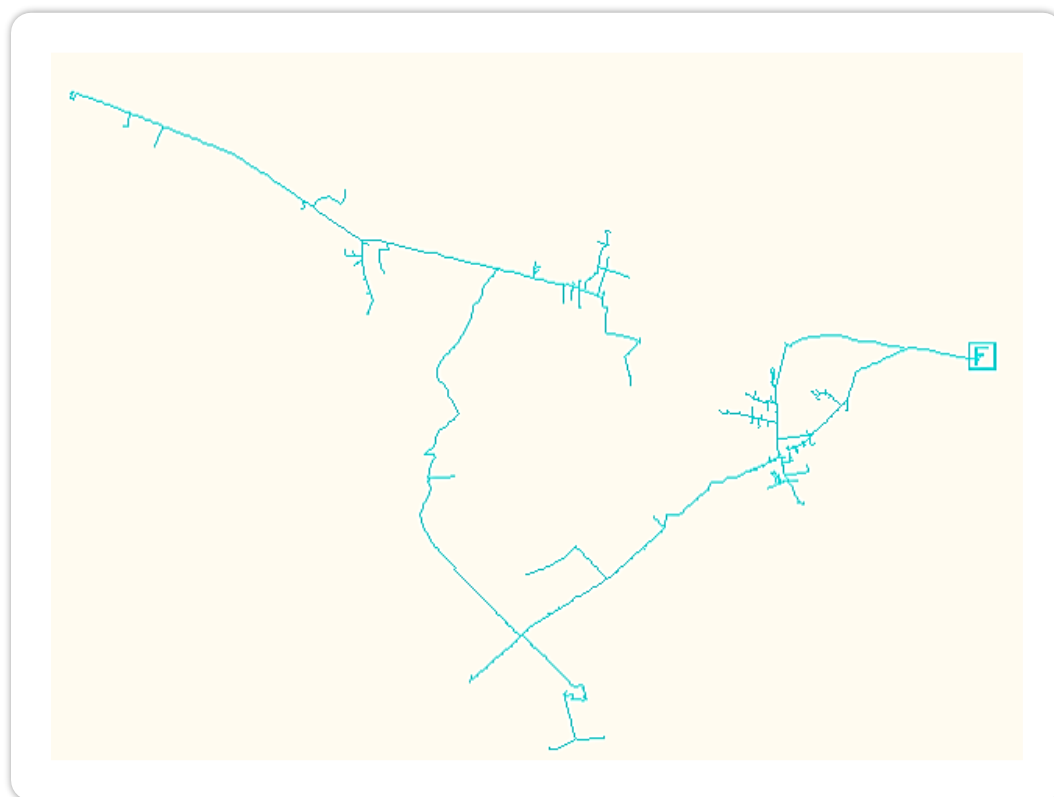


Figura 3.12 Modelado del circuito JUA5050 en el software Synergie Electric.

Al modelar el circuito JUA5050 en el simulador y realizar las corridas de flujos obtenemos los resultados de la tabla 3-10 en cuanto a pérdidas de potencia.

Tabla 3-10 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5050 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeders for JUA 52020						
JUA 5050	7588	2494	7987	95	199	2.63

Al observar los resultados de la tablas 3-10 se tiene que el circuito sobrepasa ligeramente el límite de permisible de carga al igual que el de pérdidas de potencia en un 2.63 %.

Los resultados de la simulación de voltaje se muestran en la tabla 3-11.

Tabla 3-11 Valores de voltaje del circuito JUA5050 en condiciones actuales.

Min/Max		Bal/Tot	
Src	Metric	Sect	val
Feeder JUA 5050			
	Max loading %	Section_53918731133	37.83
	Min Volts	OH_402668	92.92
	Max Volt Drop	OH_402369	0.77
	Max kW Loss	Section_53918731133	42.03
	Max Volts	OH_402497	99.99

Es en la caída de tensión donde este circuito presenta serios problemas, debido a que su trayectoria da una vuelta kilométrica innecesaria como se puede apreciar en la figura 3.12 obteniendo el siguiente resultado de caída de tensión.

$$CT = 99.99 - 92.92 = 7.07 \quad (18)$$

Para detectar de mejor manera las zonas con mayor caída de tensión se simula el circuito en cuanto a valores de voltaje como en la figura 3.13.

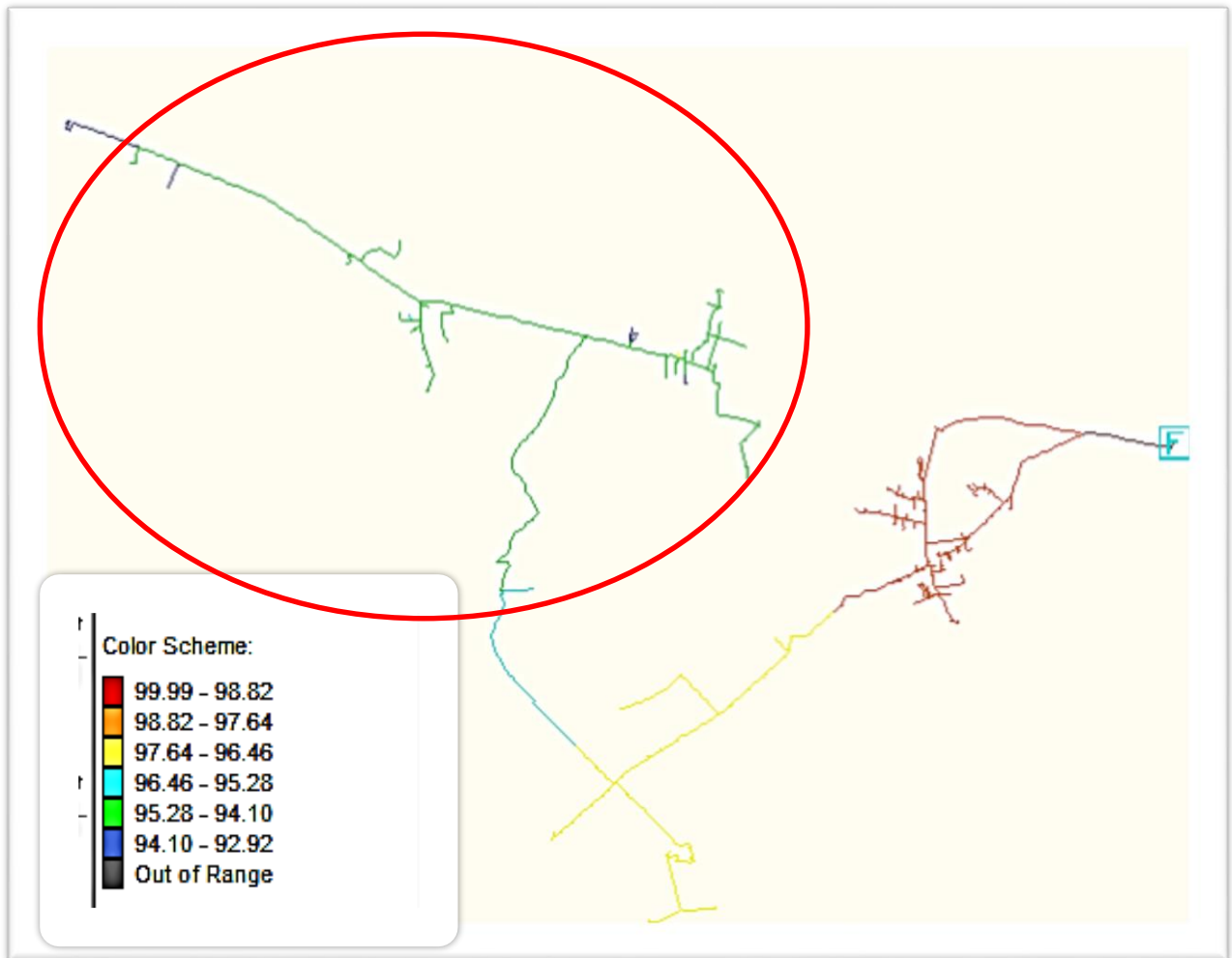


Figura 3.13 Modelado del circuito JUA5050 por caída de tensión.

3.3.7 Circuito JUA5060 “Tlaxcoapan”

Es uno de los circuitos más cortos en cuanto a su extensión, alimenta principalmente una carga residencial con algunas cuantas industrias a su paso, por esta razón es uno de los circuitos que no representa mayores problemas.

El modelado de las líneas eléctricas de media tensión se observa en la figura 3.14.

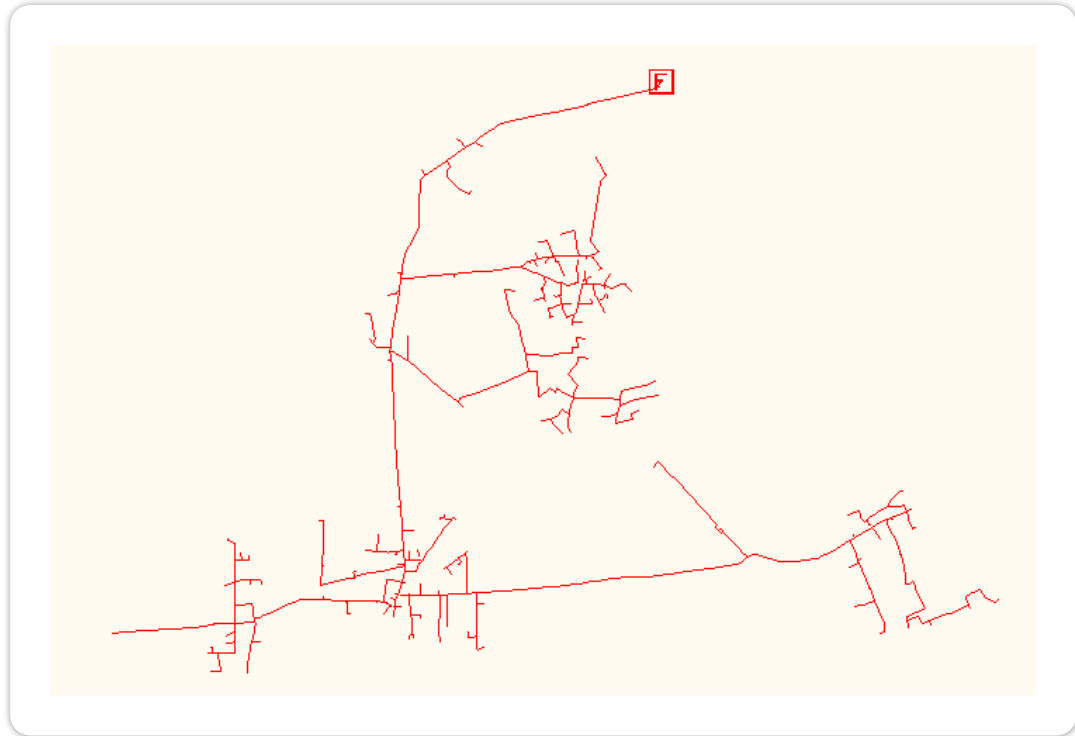


Figura 3.14 Modelado del circuito JUA5060 en el software Synergie Electric.

Al realizar las simulaciones de este circuito se obtienen los resultados de la tabla 3-12 en cuanto a pérdidas de potencia.

Tabla 3-12 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5060 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeders for JUA 52020						
JUA-5060	5146	1500	5360	96	78	1.51

En este circuito como se puede ver se encuentra en condiciones óptimas de operación.

Los valores de voltaje se muestran en la tabla 3-13.

Tabla 3-13 Valores de voltaje del circuito JUA5060 en condiciones actuales.

Min/Max		Bal/Tot	
Src	Metric	Sect	val
Feeder JUA-5060			
	Max loading %	OH_1048909	28.03
	Min Volts	OH_956441	97.55
	Max Volt Drop	OH_1046079	0.23
	Max kW Loss	OH_1046079	8.86
	Max Volts	OH_1050784	100.00

Se obtiene la caída de tensión la cual se encuentra dentro de parámetros aceptables.

$$CT = 100 - 97.55 = 2.45 \quad (19)$$

Simulación del circuito en cuanto a valores de voltaje como se muestra en la figura 3.15

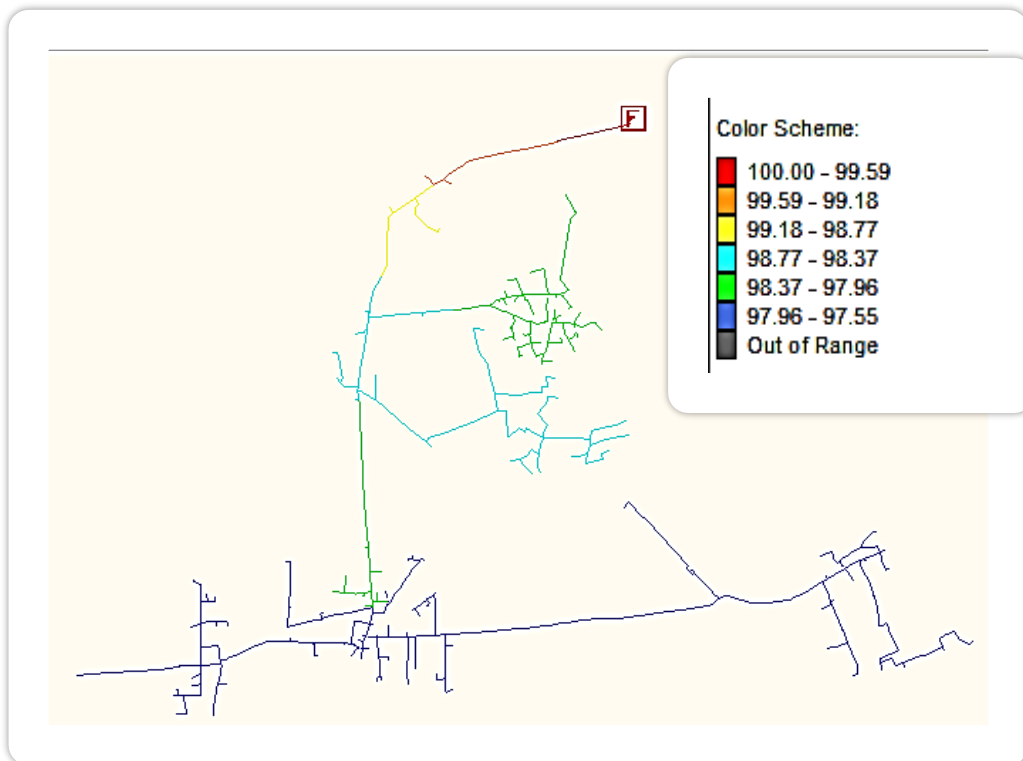


Figura 3.15 Modelado del circuito JUA5060 por caída de tensión.

3.3.8 Circuito JUA5070 “Ajacuba”

El circuito JUA5070, es extenso pero que alimenta a pocas poblaciones la cuales se encuentran separadas entre sí, es decir, la densidad de carga de este circuito es relativamente baja, se trata de un circuito predominante rural el modelado de la líneas eléctrica se muestra a continuación en la figura 3.16.

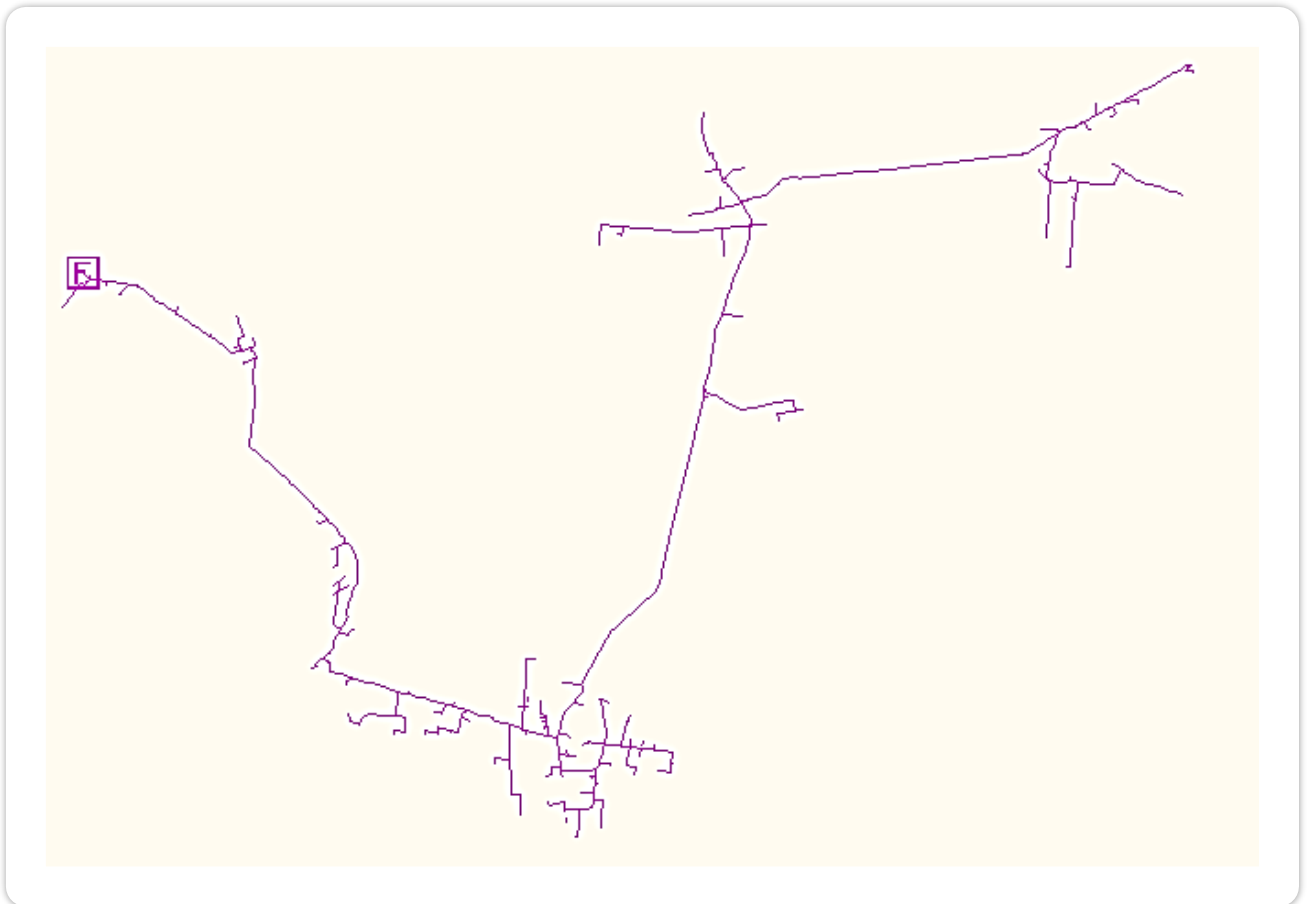


Figura 3.16 Modelado del circuito JUA5070 en el software Synergie Electric.

Al realizar las simulaciones se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 3-14 en cuanto a pérdidas de potencia.

Tabla 3-14 Valores de los parámetros eléctricos del circuito JUA5070 en condiciones actuales.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeder for JUA 52010						
JUA-5070	6034	859	6095	99	188	3.12

Este circuito se encuentra dentro de los parámetros en cuanto a la carga sin embargo en el porcentaje de pérdidas se sale ligeramente.

Los valores de voltaje se muestran en la tabla 3-15.

Tabla 3-15 Valores de voltaje del circuito JUA5070 en condiciones actuales.

Min/Max		Bal/Tot	
Src	Metric	Sect	val
Feeder JUA-5070			
	Max loading %	OH_1046538	31.87
	Min Volts	OH_954692	97.29
	Max Volt Drop	OH_48655724368	0.43
	Max kW Loss	OH_48655724368	21.23
	Max Volts	OH_1045481	100.80

En cuanto a caída de tensión se encuentra en valores aceptables.

$$CT = 102.01 - 97.29 = 4.72 \quad (20)$$

En la figura 3.17 se muestra la simulación del circuito en cuanto a valores de voltaje.

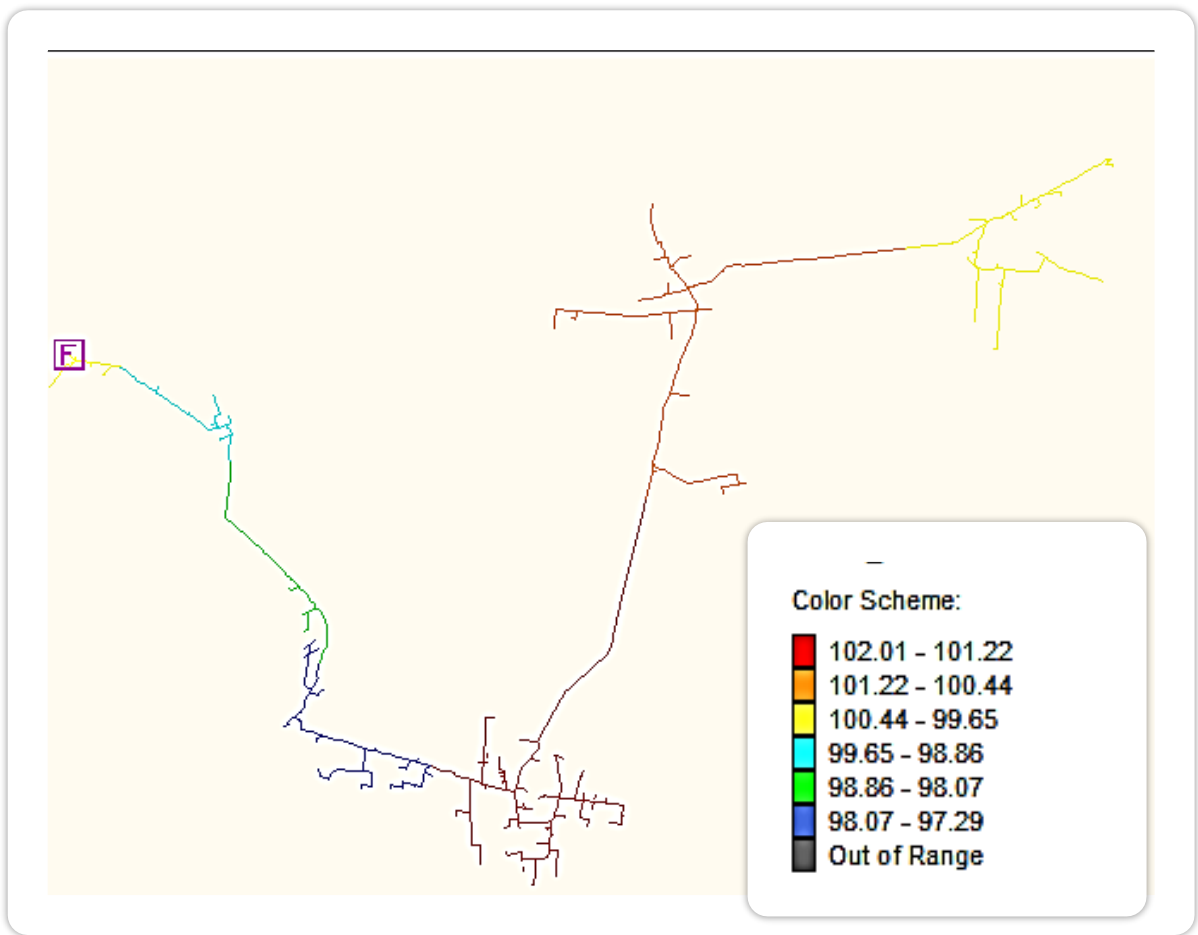


Figura 3.17 Modelado del circuito JUA5070 por caída de tensión.

De esta manera se han modelado los circuitos de la subestación Juandho en cuanto a sus condiciones actuales obteniendo los valores de interés para visualizar en las condiciones en las que se encuentran operando y así poder proponer soluciones.

El resumen de los valores obtenidos de las simulaciones de los circuitos de la subestación JUANDHO en condiciones actuales se muestra en la tabla 3-16

Tabla 3-16 Resumen de parámetros eléctricos de los circuitos en condiciones actuales.

SUBESTACION	BANCO	CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
JUANDHO	bco1	5010 CAÑADA	4914	33	1	3	1,69	47	2,14
		5020 CHILCUAUTLA	6967	1415	0,98	34	6,23	247	8,83
		5030 PROGRESO	10079	2938	0,96	642	6,37	120	5,95
		5070 AJACUBA	6034	859	0,99	188	3,12	75	4,72
	bco2	5040 TEZONTEPEC	9774	1392	0,99	469	4,8	265	5,95
		5050 TLAHUELILPAN	7588	2494	0,95	199	2,62	62	7,07
		5060 TLAXCOAPAN	5146	1500	0,96	78	1,52	70	2,45

Como se puede observar en la tabla 3-16 son varios parámetros eléctricos que se encuentran fuera de los límites permisibles en donde se tienen circuitos que sobrepasan el límite de demanda, circuitos que incumplen en pérdidas de potencia así como en la caída de tensión, para solucionar este problema se requiere de la optimización de los circuitos como se verá en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

CAPITULO IV DISCUSIÓN

4.1 Propuesta de solución y su modelado

Para obtener una solución a los problemas encontrados en el área de influencia de la subestación Juandho se utilizarán las acciones para optimizar los circuitos eléctricos descritos en capítulos anteriores.

Para determinar las soluciones de optimización el software Synergie Electric [2] será de gran ayuda ya que al contar con el modelo de los circuitos eléctricos bajo estudio se pueden realizar todas las acciones de optimización en simulaciones pudiendo así ver qué resultados esperar, a continuación se muestra en la figura 4.1 los puntos de enlace así como el estado en el que se encuentran los equipos funcionando en donde el color verde significa N/A y el color rojo N/C.

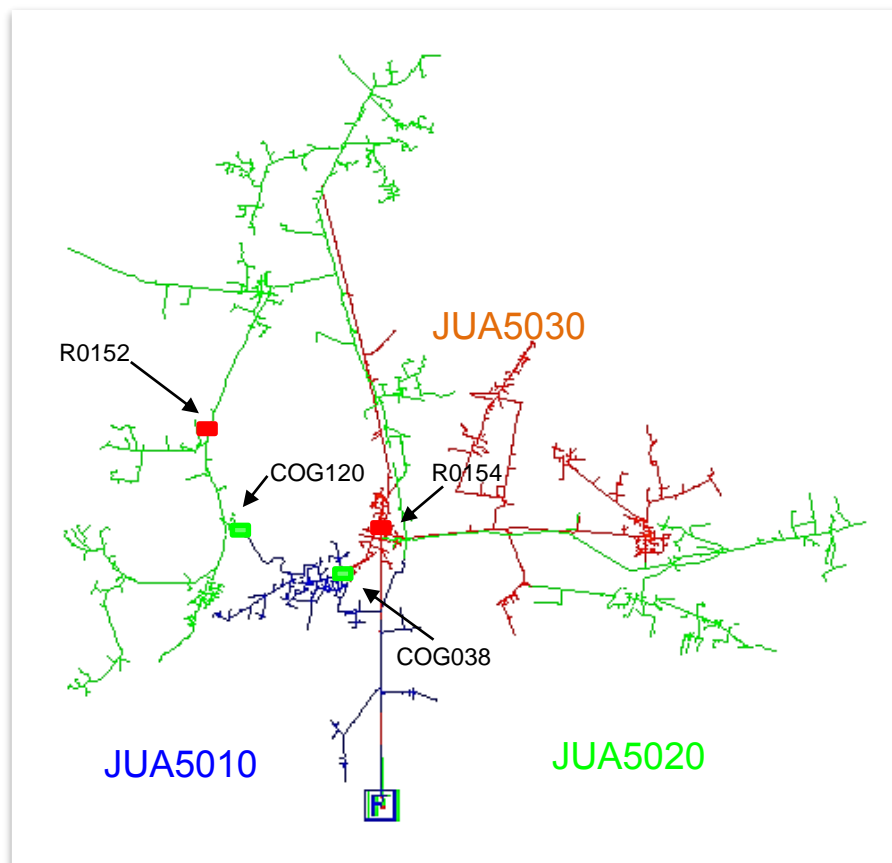


Figura 4.1 Puntos de enlace existente entre los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.

La primera opción invariablemente será la reconfiguración de circuitos que se refiere esencialmente a la transferencia de carga de un circuito que se encuentre sobrecargado a otro que presente menor carga involucrando únicamente la apertura y cierre de equipos de seccionamiento sin considerar la inversión de obra electromecánica así que como primer paso se procederá a realizar las transferencias de carga.

De los resultados obtenidos de las condiciones actuales mostrados en la tabla 4-1 se puede observar que de todos los circuitos el que se encuentra en mejores condiciones de operación e incluso sobrado en la demanda que tiene es el circuito JUA5010 así que se empezara por realizar la transferencia de carga de los circuitos que tienen enlace con este circuito.

Tabla 4-1 Valores de los parámetros eléctricos en condiciones actuales.

CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
5010 CAÑADA	4914	33	1	83	1,69	47	2,14
5020 CHILCUAUTLA	6967	1415	0,98	434	6,23	247	8,83
5030 PROGRESO	10079	2938	0,96	642	6,37	120	5,95

4.1.1 Reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030

A continuación se realizaran los cambios en el estado normal de operación de los equipos de seccionamiento, para mantenerlos en estado normalmente abierto (N/A) o normalmente cerrado (N/C) como se muestra en la figura 4.2, con el fin de reconfigurar los circuitos JUA5010, JUA5030 y JUA5030 los cuales se encuentran desbalanceados lo que ocasiona que se tengan circuitos sobrados en ciertos parámetros y otros sobrepasando sus límites permisibles.

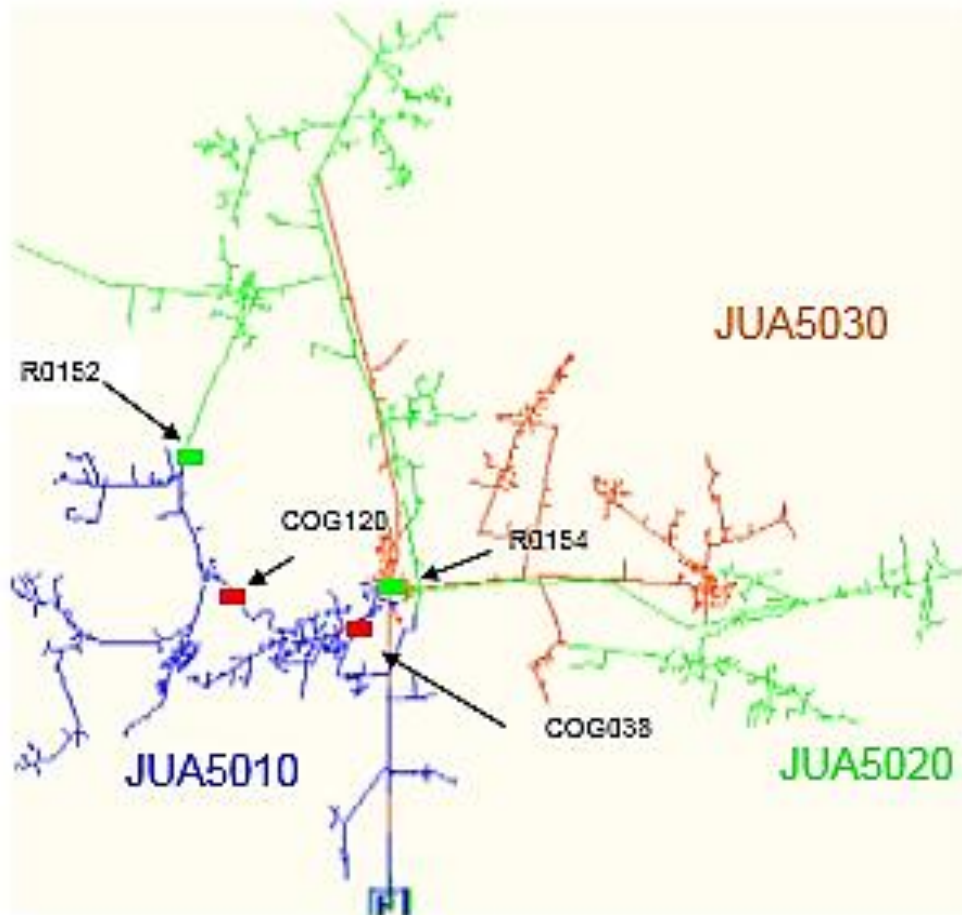


Figura 4.2 Reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.

Para la reconfiguración de los circuitos realizada en la figura 4.2 se prosiguió con la secuencia de movimientos en el siguiente orden.

- Apertura del restaurador R0152.
- Cierre de las cuchillas COG120.
- Apertura del restaurador R0154.
- Cierre de las cuchillas COG038.

Realizando la corrida de simulación de acuerdo a la reconfiguración de la figura 4.2 se obtuvieron los resultados que a continuación se muestran en la tabla 4-2.

Tabla 4-2 Valores después de la reconfiguración de circuitos.

Source Id	Demand				Loss		Feeder
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%	
Feeders for JUA 52010							
JUA 5010 CAÑADA	6737	449	6752	100	175	2.60	
JUA 5020 CHILCUAUTLA	5742	1097	5846	98	302	5.27	
JUA05030 PROGRESO	9425	2690	9802	96	586	6.21	
JUA 52010 Totals	21904	4236	22310	98	1064	4.86	

Los resultados que se obtuvieron de la simulación en cuanto a voltajes se muestran en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Valores de voltajes después de la reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.

Src	Min/Max Metric	Bal/Tot	
		Sect	val
Feeder JUA 5010 CAÑADA			
	Max loading %	OH_399178	31.99
	Min Volts	OH_401205	95.84
	Max Volt Drop	OH_399177	0.73
	Max kW Loss	OH_399177	44.88
	Max Volts	OH_399178	99.92
Feeder JUA 5020 CHILCUAUTLA			
	Max loading %	OH_399157	31.36
	Min Volts	OH_399717	91.15
	Max Volt Drop	Section_4722310436	1.22
	Max kW Loss	Section_4722310436	53.88
	Max Volts	OH_399105	99.98
Feeder JUA05030 PROGRESO			
	Max loading %	OH_406423	51.26
	Min Volts	OH_406261	95.03
	Max Volt Drop	OH_406333	1.05
	Max kW Loss	OH_406412	58.92
	Max Volts	OH_406402	101.01

Después de haber realizado el cambio en el estado de operación de los equipos de seccionamiento, para de esta manera lograr la reconfiguración de los equipos JUA5010, JUA5020 y JUA5030, se tienen los siguientes valores mostrados en la tabla 4-4.

Tabla 4-4 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la reconfiguración.

CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
5010 CAÑADA	6737	449	1	175	2.6	77	4.08
5020 CHILCUAUTLA	5742	1097	0,98	302	5.27	217	8.83
5030 PROGRESO	9425	2690	0,96	586	6,21	120	5.95

Como se puede observar en la tabla 4-4 haciendo las transferencias de la figura 4.2 solo se mejoraría en cuanto a reducción de demanda de los circuitos que transfirieron su carga al circuito JUA5010 sin embargo no lo suficiente para el circuito JUA5030 que aún presentando sobrecarga así como elevadas pérdidas de potencia y caída de tensión así mismo el circuito JUA 5020 continua presentando una elevado caída de tensión por lo que hay que corregir esta situación.

4.1.2 Segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030

Con los movimientos realizados en la figura 4.2 se descargó en buena medida el circuito JUA5020 y que al contar con enlaces existentes con el circuito JUA5030 que presenta una elevada sobrecarga, se realizara transferencia de carga del circuito JUA5030 al circuito JUA5020 para así balancear la demanda entre los dos circuitos esperando obtener beneficios en cuanto a pérdidas de potencia.

El circuito JUA5020 en condiciones actuales cuenta con un equipo de regulación de voltaje el cual gracias al simulador Synergee Electric se pudo detectar su ubicación errónea, ya que dicho equipo de regulación se encuentra instalado al principio de un ramal que se extiende hacia el Norte dejando fuera de cobertura líneas que tienen dirección hacia el este, es por eso que dicho ramal presenta la caída de tensión más elevada del circuito por lo que se requiere mover el equipo a una posición más estratégica en donde regule el voltaje de líneas que se dirijan en cualquier dirección.

Por las situaciones descritas en los párrafos anteriores se propone una segunda reconfiguración en los circuitos JUA5010, JUA20 y JUA5030 para equilibrar sus parámetros eléctricos como se muestra en la figura 4.3.

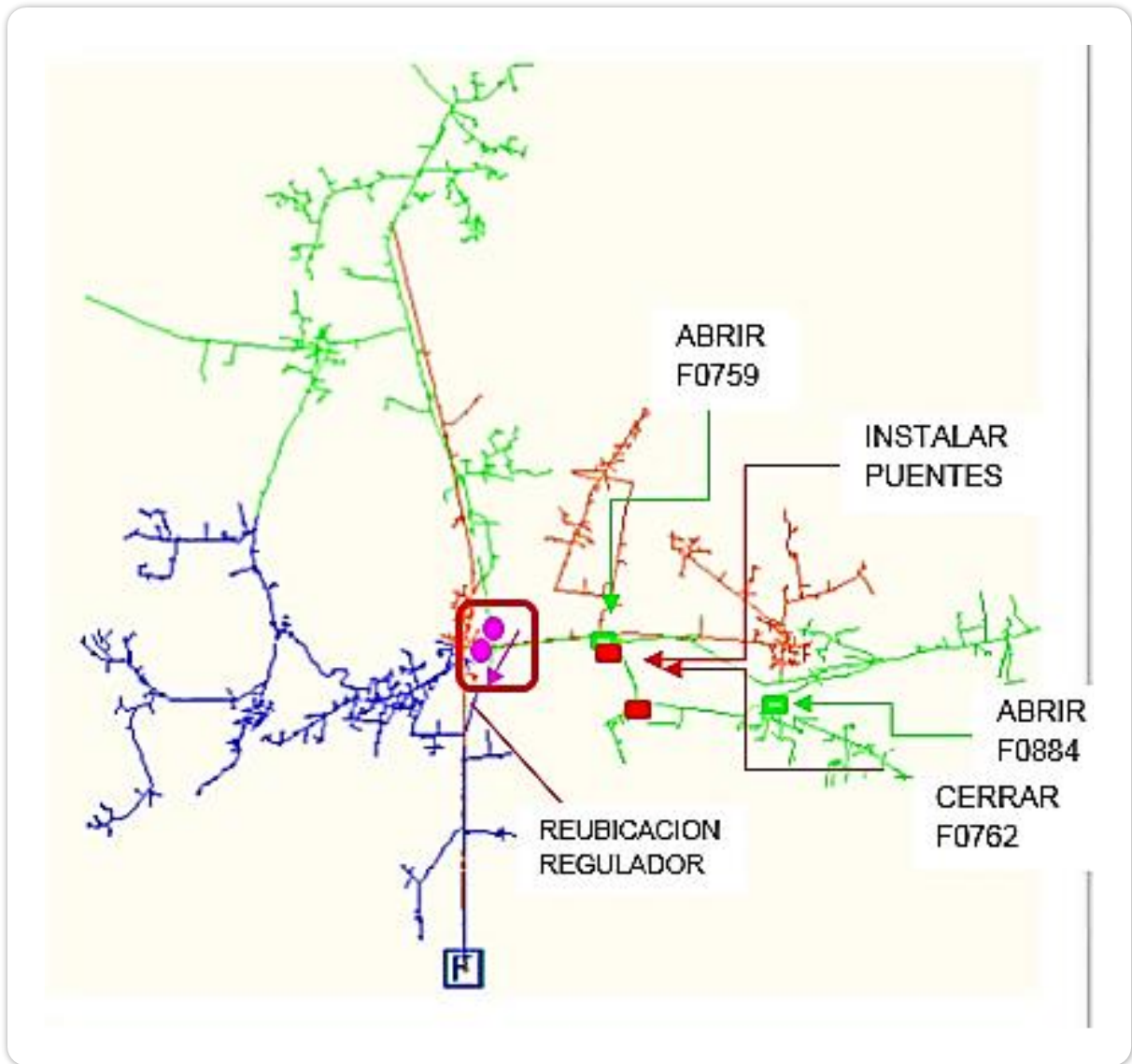


Figura 4.3 Segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.

Se realizó la siguiente secuencia de movimientos

- Apertura de fusibles F0759.
- Instalación de puentes.
- Apertura de fusibles F0884.

- Cierre de fusibles F0762.
- Reubicación de banco de reguladores.

Con estos movimientos se obtuvieron los resultados de la tabla 4-5.

Tabla 4-5 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la segunda reconfiguración.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeders for JUA 52010						
JUA 5010 CAÑADA	6737	449	6752	100	175	2.60
JUA 5020 CHILCUAUTLA	6113	1177	6225	98	289	4.73
JUA05030 PROGRESO	9142	2585	9500	96	552	6.04
JUA 52010 Totals	21991	4211	22391	98	1016	4.62

En cuanto a valores de voltaje se obtuvieron los resultados de la tabla 4-6.

Tabla 4-6 Valores de voltajes después de la segunda reconfiguración de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030.

Min/Max Src	Metric	Bal/Tot Sect	val
Feeder JUA 5010 CAÑADA			
	Max loading %	OH_399178	31.98
	Min Volts	OH_401205	95.93
	Max Volt Drop	OH_399177	0.72
	Max kW Loss	OH_399177	44.84
	Max Volts	OH_399178	99.92
Feeder JUA 5020 CHILCUAUTLA			
	Max loading %	OH_48967736510	32.58
	Min Volts	OH_399160	96.44
	Max Volt Drop	Section_4722310436	1.31
	Max kW Loss	Section_4722310436	61.06
	Max Volts	OH_399157	100.03
Feeder JUA05030 PROGRESO			
	Max loading %	OH_406423	49.68
	Min Volts	OH_406406	95.19
	Max Volt Drop	OH_406333	0.99
	Max kW Loss	OH_406412	55.31
	Max Volts	OH_406402	101.18

Actualizando los parámetros eléctricos después de la segunda reconfiguración se tienen los siguientes valores mostrados en la tabla 4-7.

Tabla 4-7 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5010, JUA5020 y JUA5030 después de la segunda reconfiguración.

CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
5010 CAÑADA	6737	449	1	175	2.6	77	4.08
5020 CHILCUAUTLA	6113	1177	0,98	289	4.73	227	3.6
5030 PROGRESO	9142	2585	0,96	552	6,04	110	5.99

Como se puede observar en la tabla 4-6 aún haciendo una segunda reconfiguración se observa que los circuitos JUA5020 y JUA5030 siguen presentando problemas en los parámetros eléctricos, debido en buena medida a la sobrecarga que tienen, y al no haber otro circuito al cual disminuir la carga, se puede concluir que es necesario la inversión para la construcción de un nuevo alimentador que salga de la subestación Juandho y optimice a estos circuitos.

4.1.3 Reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050

Los circuitos JUA5040 y JUA5050 tienen características similares de operación por ejemplo, cuentan con trayectorias que se dirigen en la misma dirección, como se puede observar en la figura 4.4, y que derivado de esta situación comparten múltiples puntos de enlace a lo largo de su recorrido, alimentan el mismo tipo de carga que son poblaciones rurales así como algunos pozos de rebombeo de la empresa PEMEX, además, se trata de dos circuitos con grandes longitudes de sus líneas eléctricas por lo que presentan problemas de sobrecarga, pérdidas de potencia y caída de tensión, por esta razón a continuación se procederá a realizar la optimización de los dos circuitos mediante la transferencia de carga entre ellos.

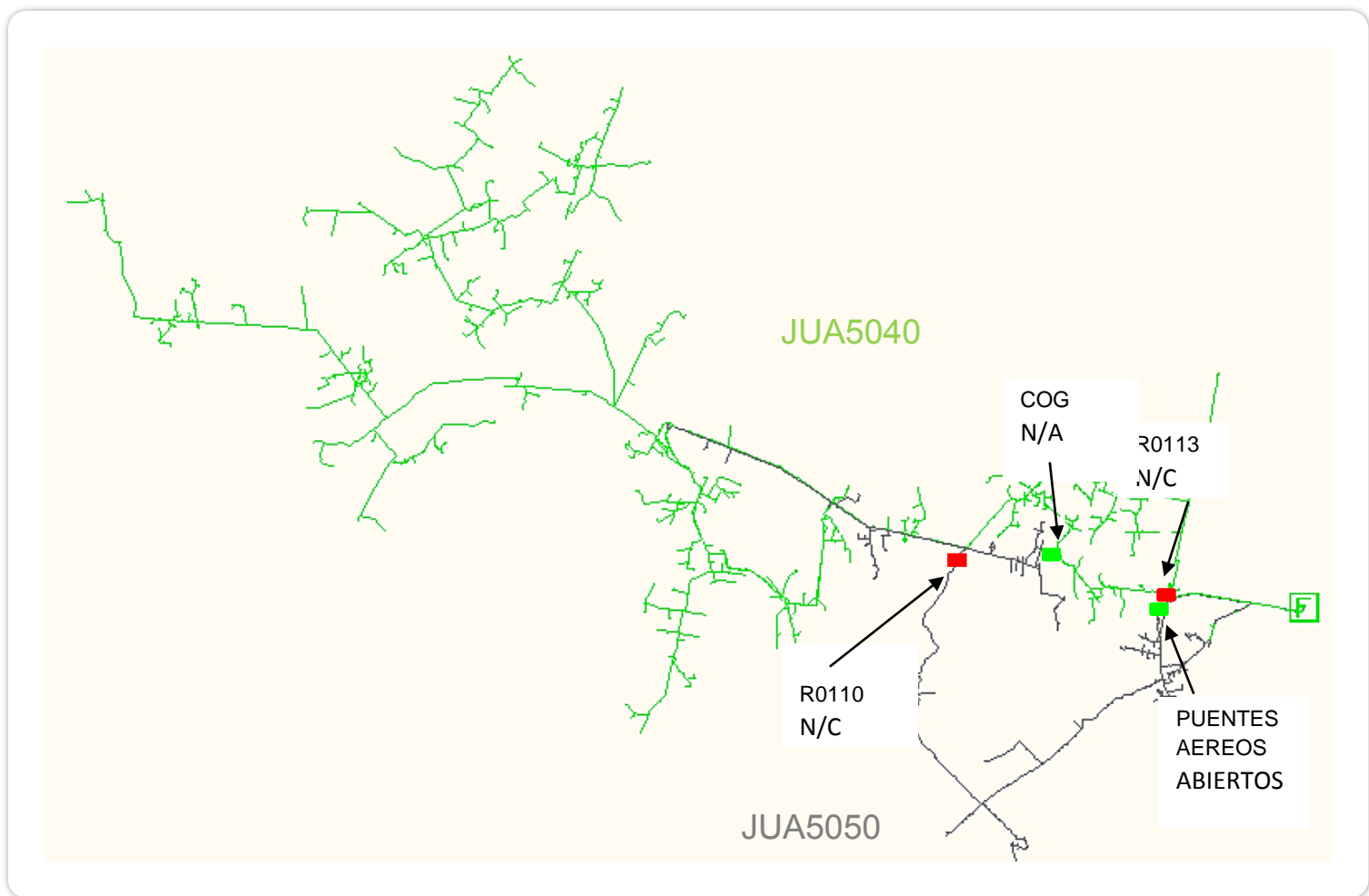


Figura 4.4 Puntos de enlace existente entre los circuitos JUA5040 Y JUA5050.

Al realizar las simulaciones de los dos circuitos se obtienen los valores de los parámetros eléctricos de la tabla 4-8.

Tabla 4-8 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5040 y JUA5050 en condiciones actuales.

CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
5040 TEZONTEPEC	9774	1392	0,99	469	4,8	265	5.95
5050 TLAHUELILPAN	7588	2494	0,95	199	2,62	62	7.07

De acuerdo a la tabla 4-7 de las condiciones actuales de los parámetros se observa que ambos circuitos rebasan los límites de operabilidad por lo que se procederá a realizar transferencia de carga y reconfiguración de circuitos como se muestra en la figura 4.5.

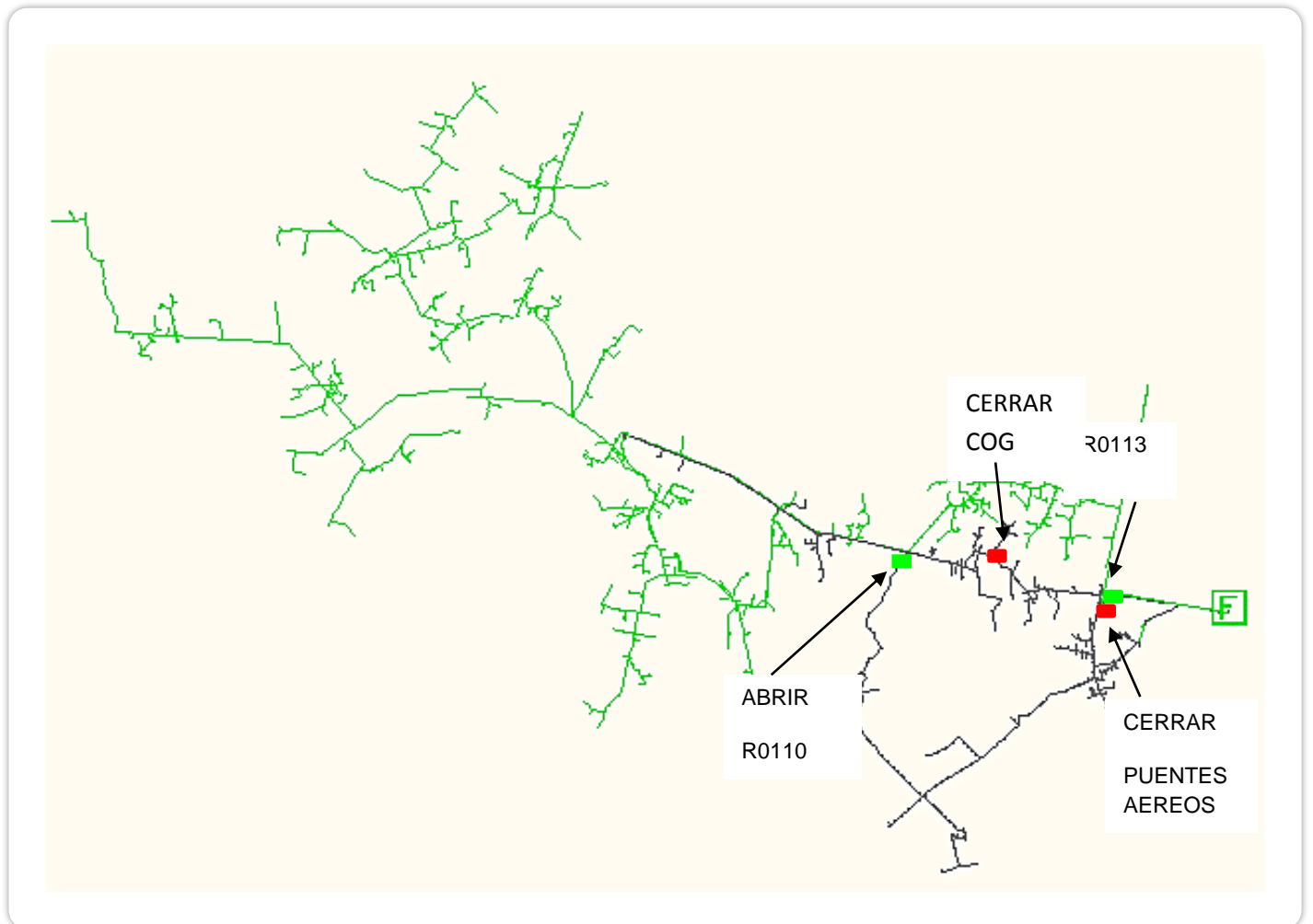


Figura 4.5 Reconfiguración de circuitos JUA5040 y JUA5050.

Para poder realizar la reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050 se llevó a cabo la siguiente secuencia de movimientos.

- Apertura del restaurador R0113.
- Cierre de puentes aéreos.
- Apertura de restaurador R0110.
- Cierre de COG.

Una vez realizados los movimientos descritos en el párrafo anterior dentro del simulador, se llevan a cabo las corridas de flujo obteniendo los resultados de la tabla 4-9.

Tabla 4-9 Valores de los parámetros eléctricos de los circuitos JUA5040 y JUA5050 después de reconfigurarlos.

Source Id	Demand				Loss	
	kW	kvar	kVA	pf	kW	%
Feeders for JUA 52020						
JUA 5040	8641	1177	8721	99	395	4.57
JUA 5050	8739	2576	9111	96	154	1.76
JUA 52020 Totals	17380	3753	17781	98	548	3.15

En cuanto a los resultados de voltaje se obtienen de las mismas corridas de flujo los valores que se muestran en la tabla 4-10.

Tabla 4-10 Valores de voltajes después de la reconfiguración de circuitos JUA5040 y JUA5050.

Src	Min/Max Metric	Bal/Tot	
		Sect	val
Feeder JUA 5040			
	Max loading %	OH_405171	41.31
	Min Volts	OH_405069	95.00
	Max Volt Drop	OH_405175	0.77
	Max kW Loss	OH_405175	56.90
	Max Volts	OH_402119	101.21
Feeder JUA 5050			
	Max loading %	Section_53918731133	43.15
	Min Volts	OH_402668	95.93
	Max Volt Drop	Section_53918731133	0.83
	Max kW Loss	Section_53918731133	54.68
	Max Volts	OH_402497	99.99

De esta manera se tienen los resultados de las simulaciones de la reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050 que se aprecia mejor en la tabla 4-11.

Tabla 4-11 Valores de los parámetros eléctricos de la reconfiguración de los circuitos JUA5040 y JUA5050.

CIRCUITO	DEMANDA KW<7500	REACTIVOS KVAR	FP >0,95	PERDIDAS DE POTENCIA (KW) <2%	% DE PERDIDAS DE POTENCIA <2%	LONG km <100km	% CAIDA DE TENSION <5%
5040 TEZONTEPEC	8641	1177	0,99	395	4,57	255	6.21
5050 TLAHUELILPAN	8739	2576	0.96	154	1.76	72	4.06

Con la reconfiguración de los circuitos se pudo abatir la caída de tensión del circuito JUA5050, sin embargo la carga que comparten entre los circuitos supera los límites permisibles de demanda [1] [10], por lo que se puede concluir que aparte de la reconfiguración de circuitos estaría haciendo falta la inclusión de un nuevo alimentador para repartir la carga de los dos circuitos.

CONCLUSIONES

El área de influencia eléctrica de la subestación de distribución JUANDHO presenta múltiples anomalías en el crecimiento de su infraestructura eléctrica que afectan en la operatividad y suministro de energía eléctrica a sus usuarios, con circuitos con trayectorias extensas innecesarias y un desequilibrio en la carga conectada a sus líneas.

La planeación en el crecimiento de la infraestructura eléctrica es de vital importancia para contar con un sistema eléctrico adecuado y de calidad en el área del suministro de energía eléctrica para lo cual se utilizan las técnicas de diseño de construcción de obra electromecánica descrita el capítulo 2.

La distribución de la energía a través de sus líneas eléctricas se caracteriza por tener un gran dinamismo y crecimiento acelerado complicando dicha tarea y que para mantener un suministro de energía eléctrica adecuada suficiente y de calidad se hace uso de técnicas de optimización [10].

En el presente trabajo se propone la técnica de reconfiguración de circuitos eléctricos como la acción principal y más conveniente a la hora de optimizar un área de distribución eléctrica ya que mediante esta es posible identificar trayectorias más cortas de cada circuito y equilibrarlos en cuanto a carga, para lograr dicha tarea fue fundamental la utilización de la herramienta de análisis Synergie Electric a través de la cual se realizaron las simulaciones que nos ayudaron a determinar las reconfiguraciones más óptimas en la red de media tensión de la subestación Juandho.

Para llevar a cabo los estudios de análisis de reconfiguración de circuitos es indispensable conocer toda la infraestructura eléctrica en media tensión para de este modo realizar las propuestas solución.

Al realizar las reconfiguraciones de los circuitos de la subestación Juandho se pudieron observar mejoras tanto en la disminución de pérdidas técnicas como en los niveles de voltaje abatiendo la caída de tensión a fin de dar un buen suministro de energía eléctrica, concluyendo que para tener los parámetros eléctricos dentro de los

límites permisibles es necesario la inversión en obra electromecánica, a través de la construcción de nuevos alimentadores en la subestación y líneas eléctricas para la creación de nuevas trayectorias que equilibren la carga de los circuitos de la subestación JUANDHO.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. M. Barragan, “Normas de Distribución - Construcción -Instalaciones aéreas en Media y Baja Tensión”, Comisión Federal de Electricidad, Manual de Normas, 2006.
- [2] Tutorial Synergiee Electric 4.0, Departamento de Planeación CFE, 2012
- [3] *Instalaciones Eléctricas*, NOM-001-SEDE-2012, (Utilización)
- [4] *Sistemas eléctricos*, NMX-J-098-ANCE-2014
- [5] *Conductores - cables multiconductores para distribución aérea soportados por un mensajero y cables para distribución subterránea en baja tensión especificaciones*, NMX-J-061-ANCE-2015,
- [6] *Aisladores poliméricos soporte tipo columna para subestaciones con tensiones de c.a. mayores que 1 kv a 245 kv definiciones, especificaciones, métodos de prueba y criterios de aceptación*, NMX-J-250/2-ANCE-2015,
- [7] *Conectores para subestaciones eléctricas - especificaciones y métodos de prueba*, NMX-J-395-ANCE-2015,
- [8] *Productos de distribución y de control de baja tensión-parte 1: reglas generales*, NMX-J-538/1-ANCE-2015,
- [9] *Unidades de cadenas de aisladores poliméricos para líneas aéreas con una tensión nominal mayor que 1 000 v parte 1:clases de esfuerzo normalizadas y herrajes terminales*, NMX-J-713/1-ANCE-2015
- [10] E. H. Hernández, “Procedimiento para realizar los estudios de planeación a corto plazo de un sistema de distribución”, Comisión Federal de Electricidad, PLA-0560, 2000.
- [11] “Cálculo de pérdidas de energía”, Comisión Federal de Electricidad, Subgerencia de Distribución Centro Oriente, 2010.

APÉNDICE A

Gráficas comparativas de los resultados antes y después de las reconfiguraciones

En la figura A.1 podemos observar la sobrecarga que presentan los circuitos antes y después de la reconfiguración de circuitos siendo 3 los que se encuentran por arriba de límites permisibles

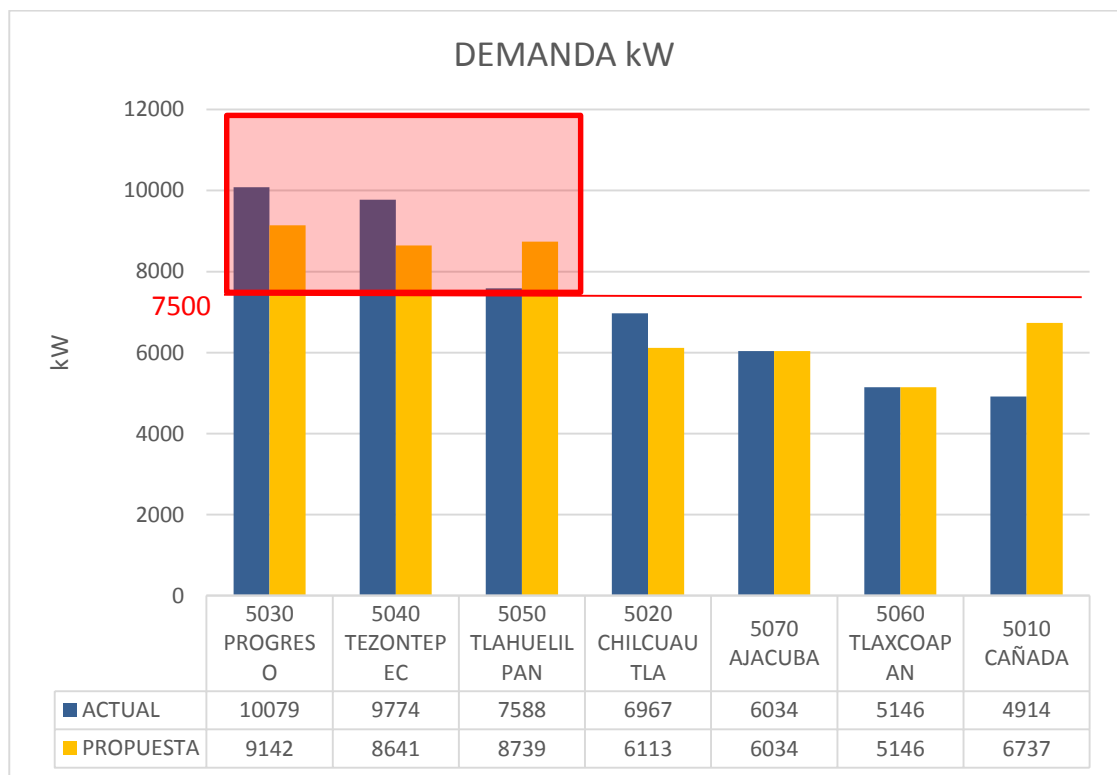


Figura A.1 Gráfica comparativa de demanda.

En la figura A.2 se puede apreciar el comportamiento de los circuitos en cuanto a su factor de potencia en donde todos los circuitos se encuentran en valores permisibles

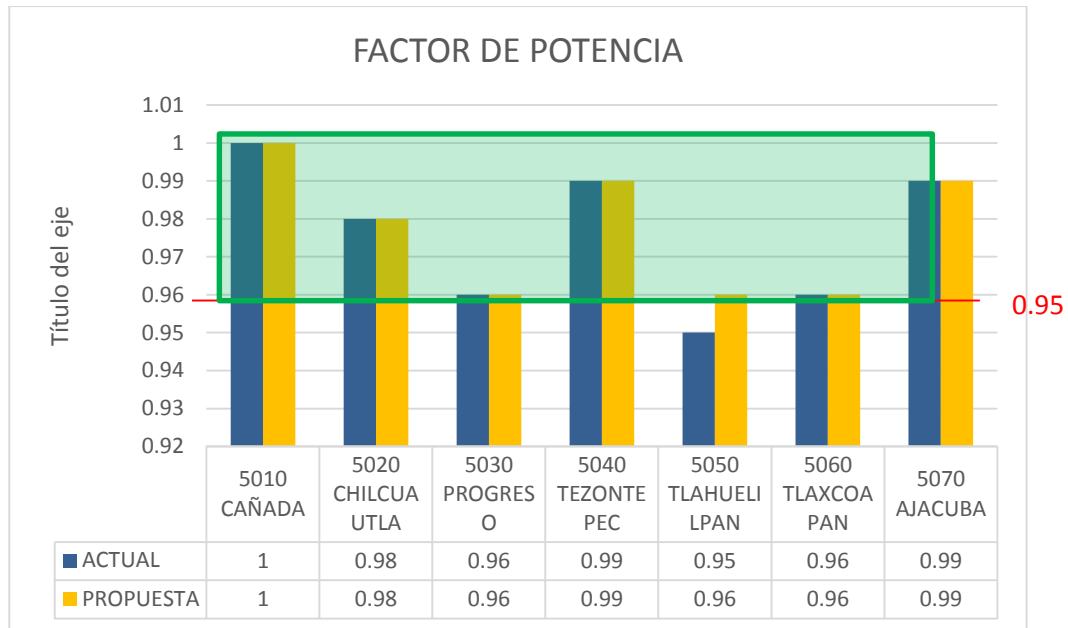


Figura A.2 Gráfica comparativa de factor de potencia.

En la figura A.3 se puede observar el porcentaje de pérdidas de potencia de cada circuito antes y después de la reconfiguración en donde los valores se equilibraron pero aun así continúan presentando problemas

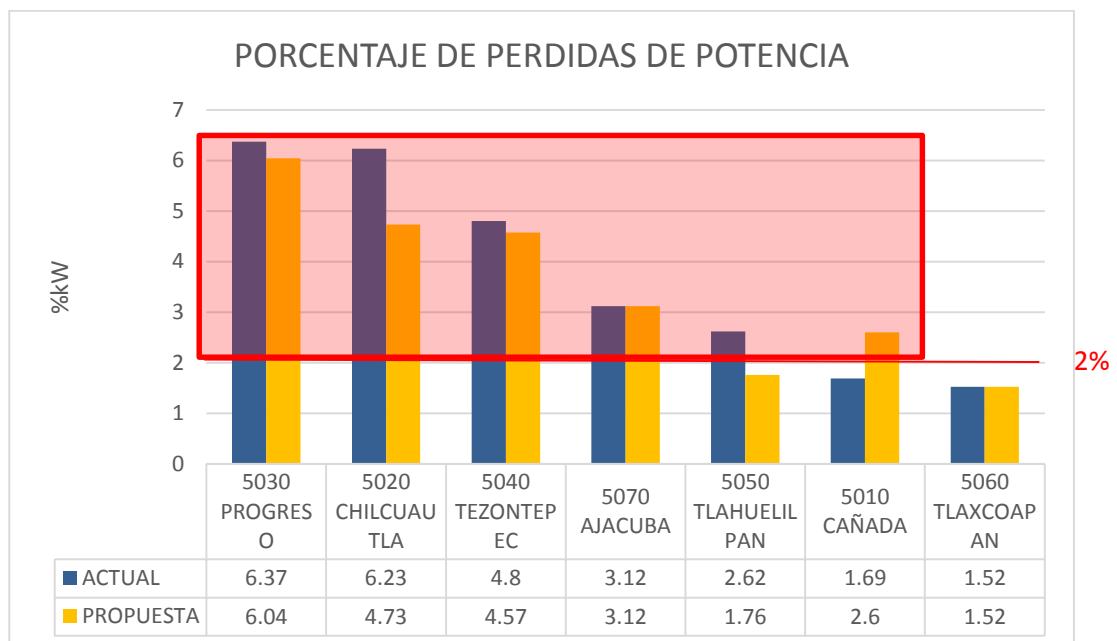


Figura A.3 Gráfica comparativa de pérdidas de potencia.

En la figura A.4 se pueden observar los circuitos de la subestación JUANDHO, en donde se aprecia la mejora en el parámetro de caída de tensión, después de haber llevado a cabo la reconfiguración

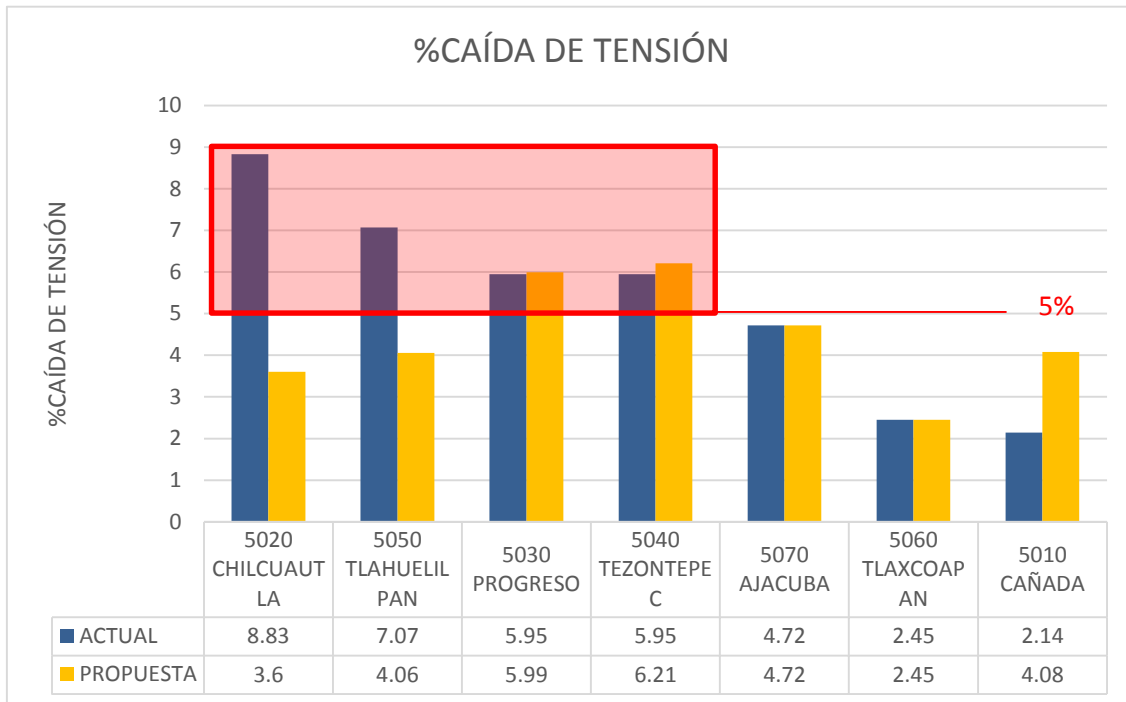


Figura A.4 Gráfica comparativa de pérdidas de potencia.

En la figura A.5 se muestra el comparativo de longitud de los circuitos antes y después de la reconfiguración aunque cabe mencionar que en la longitud no se tiene límites máximos

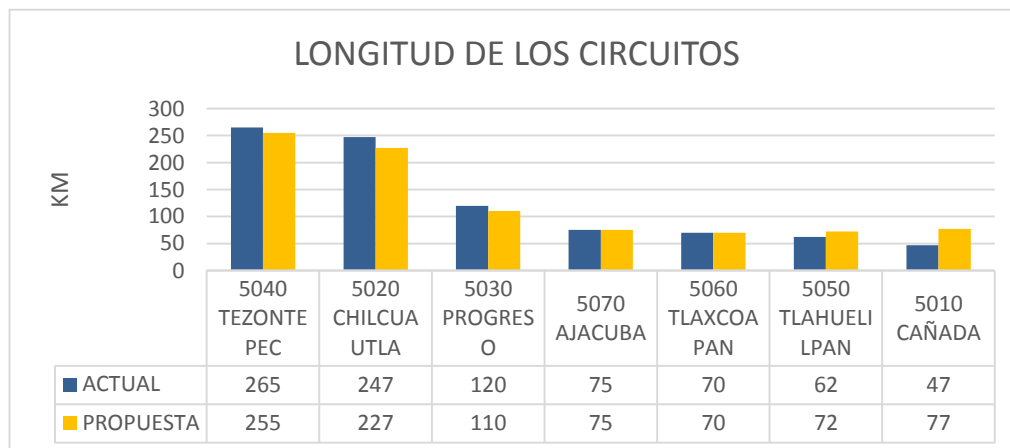


Figura A.5 Gráfica comparativa de longitud.

APENDICE B

Información software SynerGEE Electric



SynerGEE Electric 4.0 es un software de simulación usado para modelar y analizar sistemas eléctricos de distribución, la compañía proveedora de este programa es Advantica de origen estadounidense, este software es una herramienta poderosa que tiene la capacidad de:

- Analizar flujos de carga
- Flujos de falla
- Confiabilidad
- Armónicos
- Contingencias
- Coordinación de dispositivos de protecciones
- Aplicaciones de distribución de carga
- Balanceo de carga
- Dimensionamiento ubicación de capacitores
- Localización de fallas

La interfaz de SynerGEE ha sido cuidadosamente diseñada para permitir una rápida modificación y navegación utilizando editores simples y atajos para integrar mapeo, carga de datos, y resultados esperados

Una de las propiedades principales de SynerGEE es la flexibilidad en el manejo de datos. Con una completa variedad de formatos de fuentes de datos disponibles, junto con una extensa capacidad para validar y conjuntar (merge) información. SynerGEE representa un motor de manejo de datos que puede satisfacer las necesidades locales y remotas.

Por la flexibilidad de SynerGEE, en ocasiones el manejo de datos requiere más consideraciones que una simple descarga y salvado de archivos, como otros programas. Por ejemplo, cargar un modelo y sus datos asociados puede requerir más pasos que cargar un documento, al igual que un procesador de textos. Sin embargo, SynerGEE provee muchas herramientas para facilitar el manejo de datos y guardarlos de manera simple para el usuario.

El DSA Data Source Alias, es una herramienta principal en el SynerGEE. En esencia, el DSA es una liga inteligente para un archivo fuente de datos, conceptualmente similar de varias maneras a un hipervínculo. El link mismo contiene toda la información necesaria para acceder a la fuente de datos, permitiendo al usuario manejarlos datos vía el DSA sin tener que acceder al archivo o la base de datos directamente desde su ubicación.

El mapa SynerGEE es una interfaz personalizada configurable que permite al usuario:

- Rápido acceso a los segmentos de línea (Sections) y a los editores de dispositivos.
- Resultados gráficos de análisis en pantalla a través de opciones de color.
- Etiquetado de Secciones y equipos con resultados de análisis y parámetros de construcción.

SynerGEE Electric 4.0 toma los datos de cada línea o dispositivo (carga, fusible, capacitor, regulador, etc.) y los transforma a características propiamente eléctricas como resistencia inductancia y capacitancia para cierto segmento