

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**PROGRAMA DE AMPLIACION Y MODERNIZACION DE LAS REDES  
GENERALES DE DISTRIBUCION**

**CARRERA:**

INGENIERÍA ELÉCTRICA

**RESIDENTE:**

ADRIANA TECO DE LOS SANTOS

**EMPRESA:**

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

PROGRAMA DE AMPLIACION Y MODERNIZACION DE LAS REDES  
GENERALES DE DISTRIBUCION

**ASESOR INTERNO:**

ING.CEIN TECO LOPEZ

**ASESOR EXTERNO:**

ING.MIGUEL ANGEL CERDA GONZALEZ

**PERIODO: AGOSTO DICIEMBRE 2019**

## AGRADECIMIENTOS

**A mis padres:**

**Gracias por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, este logro no hubiera podido realizarse sin ustedes, por darme las palabras adecuadas en los momentos que más lo necesitaba y más cuando estaba a punto de tirar la toalla, por ser el mejor equipo y por todos los sacrificios que han hecho y siguen haciendo, por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, por darme las herramientas para poder emprender mi vuelo ,ahora es tiempo de utilizarlas y volar, lo logre, lo logramos.**

**A mi hermana:**

**Gracias por todas tus porras a lo largo de este tiempo, por siempre permanecer a mi lado y por darle más alegría a mi vida, por ser mi mejor cómplice y compañera de aventuras**

**A mis padrinos**

**Por darme el apoyo incondicional en esta última etapa de la carrera y apoyarme en los buenos y malos momentos**

# INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b>	<b>5</b>
<b>1.2 ESTADO DEL ARTE</b>	<b>6</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1.4 OBJETIVO</b>	<b>7</b>
<b>1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>7</b>
<b>1.5 METODOLOGÍA</b>	<b>8</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEORICO</b>	<b>9</b>
<b>2.1. HISTORIA DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD</b>	<b>9</b>
<b>2.2 ESTRUCTURA ACTUAL DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION (RGD) DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL</b>	<b>11</b>
<b>2.3 ZONA DE DISTRIBUCION VALLE DE MEXICO NORTE</b>	<b>12</b>
<b>2.4 ZONA DE DISTRIBUCION CUAUTITLAN</b>	<b>12</b>
<b>2.5 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>13</b>
<b>2.6 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	<b>14</b>
<b>2.7 ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN.</b>	<b>17</b>
<b>2.8 CONDUCTORES PARA LÍNEAS AÉREAS</b>	<b>18</b>
<b>2.9 DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION</b>	<b>20</b>
<b>3.0 TIPOS DE CARGAS</b>	<b>23</b>
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA.</b>	<b>24</b>
<b>3.2 PROGRAMA DE AMPLIACION Y MODERNIZACION DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION</b>	<b>25</b>
<b>3.3 INTRODUCCION AL PROGRAMA DE CRECIMIENTO Y REORDENAMIENTO DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION (PCR)</b>	<b>26</b>
<b>3.4 PROGRAMA DE CRECIMIENTO Y REORDENAMIENTO DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION</b>	<b>27</b>
<b>3.5 ¿QUE PRETENDE EL PCR?</b>	<b>27</b>
<b>3.6 HERRAMIENTAS DE TRABAJO</b>	<b>29</b>
<b>3. DESARROLLO</b>	<b>30</b>
<b>3.1 DATOS DEL CD COYOTEPEC, ZONA CUAUTITLAN PERTENECIENTE A LA DIVISION VALLE DE MEXICO NORTE</b>	<b>30</b>
<b>3.2 ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS SELECCIONADOS PARA APLICAR EL PCR</b>	<b>32</b>
<b>3.3 PCR PASO A PASO</b>	<b>34</b>

5. RESULTADOS	35
6. ABREVIATURAS	39
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
8. CONCLUSIÓN	41

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 ANTECEDENTES

---

La tecnología se ha vuelto un recurso indispensable en la actualidad. La mayoría de los países, el suministro de energía eléctrica comercial se distribuye a través de redes o tendidos eléctricos, que interconectan numerosas fuentes generadoras que alimentan a las cargas.

La red debe abastecer las necesidades básicas nacionales de iluminación, calefacción, refrigeración, aire acondicionado, transporte y residenciales, así como el abastecimiento crítico a comunidades gubernamentales, industriales, financieras, comerciales, médicas y de comunicaciones. El suministro eléctrico comercial realmente le permite al mundo moderno funcionar a su paso acelerado cada día.

La tecnología se encuentra en nuestros hogares y carreras, y con la llegada del comercio electrónico está cambiando continuamente la forma en la que interactuamos con el resto del mundo de manera digital y sistematizada. Un sistema de distribución eléctrica, es toda la parte del sistema eléctrico de potencia comprendida entre una central generadora de electricidad y los apagadores del consumidor o cliente final.

El sistema de distribución de energía es el conjunto de: alimentadores, distribuidores, puestos de transformación y dispositivos de maniobra empleados para la distribución de la electricidad hasta el cliente final o consumidor.

El sistema eléctrico está compuesto, en conceptos generales, por los siguientes componentes:

- Generación
- Transmisión
- Distribución

El comportamiento de la demanda de energía eléctrica, presenta parámetros característicos que son necesarios determinar y especificar para el diseño y cálculo de los sistemas eléctricos de distribución. En este contexto, cobra real importancia el pronóstico de la demanda y el cálculo de las pérdidas de potencia y energía en el sistema eléctrico de distribución.

Los principales elementos que conforman un sistema de distribución son:

- a) Alimentadores primarios de distribución.
- b) Transformadores de distribución.
- c) Alimentadores o redes secundarias.

d) Acometidas.

e) Equipo de medición.

Lo que se implica en un sistema de distribución eléctrica son los diversos sistemas de protección para no afectar la continuidad del servicio y la protección de nuestros aparatos eléctricos que usamos en la vida diaria, en los diversos niveles de voltaje con los que se cuenta y en las diferentes horas de demanda brindando confiabilidad y seguridad a los usuarios.

Para un funcionamiento adecuado del sistema eléctrico de distribución, es necesario un diseño adecuado de los esquemas de protección empleadas en las redes de distribución, para lo cual es necesario conocer todos los parámetros de la misma, tales como: Niveles de corrientes de cortocircuito, equipos conectados, las impedancias de los alimentadores, distribuidores y transformadores.

---

## 1.2 ESTADO DEL ARTE

---

Se presenta una metodología para resolver el problema de la restauración del servicio en sistemas de distribución de energía eléctrica, el cual es planteado como un modelo de optimización no lineal entero mixto, donde la función objetivo a maximizar es la carga que está por fuera del servicio, sujeto a un conjunto de restricciones técnicas y operativas. El problema es solucionado empleando técnicas heurísticas, a través de indicadores de sensibilidad que guían el proceso de restauración. La metodología es validada en sistemas de distribución, encontrando resultados de buena calidad. **[3] [Restauración de sistemas eléctricos de distribución usando un algoritmo heurístico constructivo, Rubén Iván Bolaños, Ricardo Alberto Hincapié Isaza, Ramón Alfonso Gallego Rendón]**

Para transportar la energía eléctrica a las grandes urbes en la actualidad es un reto ya que se requieren estructuras de gran magnitud como lo son estaciones eléctricas, subestaciones eléctricas, postes y torres de transmisión eléctrica. Es importante mencionar que este trabajo requiere de un grado de seguridad elevado por ser una obra que en caso de fallar causarían la pérdida de un número importante de vidas o perjuicios económicos o culturales excepcionales altos; así como aquellas cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de fenómenos naturales. **[Escuela Politécnica Nacional, Escuela Superior De ingeniería y Arquitectura, Diseño De Torres Transmisión Eléctrica, Alma Nancy Hernández Rosas, Fabián morales padilla, México DF, 2005].**

---

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

---

Se determinó como primer polígono de estudio de la Zona de Distribución Cuautitlán que se encuentra dentro del Municipio de Cuautitlán, el cual está conformado por 3 circuitos de distribución de media tensión en 23 kV, es el 4.5 % de los circuitos de la Zona, perteneciente a 1 subestación: Coyotepec (CYO); las pérdidas técnicas instantáneas en el circuito de Distribución es de 226 KW y en energía perdida suma un total de 1.030,016.71 kWh lo que representa el 2.4 % del total de la Zona; de igual manera el polígono seleccionado cuenta con 253 km de red de media tensión y 1361 Transformadores de Distribución instalados .

Así mismo como lo indica el Plan de Crecimiento y Reordenamiento (PCR). Se da prioridad a la zona urbanizada con el fin de ordenar la red de media tensión en los circuitos involucrados, eliminando los cruces entre áreas de influencias de circuitos de distribución, eliminar trayectorias innecesarias de energía, acotando las áreas de influencias de las subestaciones involucradas, crear lazos entre circuitos de diferentes subestaciones, Reducir Pérdidas de Energía

---

## 1.4 OBJETIVO

---

Al realizarse este proyecto se garantizara el suministro de energía eléctrica con la calidad, confiabilidad y seguridad requerida y una facturación eficiente, atendiendo a todas las Zonas de Distribución de todas las Unidades de Negocio de la Empresa Subsidiaria de CFE Distribución todo esto apegándose al Programa de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución

---

### 1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

---

Los objetivos del Programa de Crecimiento y Reordenamiento de las Redes Generales de Distribución son los siguientes

- ✓ Reducir las pérdidas eléctricas
- ✓ Mejorar la confiabilidad de la RGD al retirar las instalaciones redundantes en Media Tensión
- ✓ Mejorar el Factor de Potencia
- ✓ Disminuir errores en la operación de la RGD.
- ✓ Incrementar la seguridad del personal de campo que opera la red

---

## 1.5 METODOLOGÍA

---



## 2. FUNDAMENTO TEORICO

### 2.1. HISTORIA DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

La historia de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) da inicio con la generación de energía eléctrica a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo ubicada en León, Guanajuato, y era utilizada por la fábrica textil “la americana”. Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública. En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Bato pilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica. No obstante, durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas “de arco” en la Plaza de la Constitución, cien más en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la Ciudad de México. Algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales, como The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense, en el centro del país., el consorcio The American and Foreign Power Company, con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la compañía eléctrica de Chapala, en el occidente.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. Las tres compañías eléctricas tenían las concesiones e instalaciones de la mayor parte de las pequeñas plantas que sólo funcionaban en sus regiones. En ese periodo se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.

En 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes, de los cuales únicamente siete millones contaban con electricidad, proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas. En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más rentables, sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW.

Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación,

transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales. (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937.

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, beneficiando a más mexicanos al posibilitar el bombeo de agua de riego y la molienda, así como mayor alumbrado público y electrificación de comunidades. Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xia (Oaxaca), y Ures y Altar (Sonora).

El primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán. En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes, mediante la reventa. Hacia 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Por eso el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y los problemas laborales. Para 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54%.

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW. Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

Cabe mencionar que en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz. Esta situación dificultaba

el suministro de electricidad, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizando los voltajes de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional. En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

---

## 2.2 ESTRUCTURA ACTUAL DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION (RGD) DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL

---

CFE Distribución proporciona el servicio de electricidad a todo el país a través de 16 Divisiones de Distribución formalmente constituida con las 150 Zonas de Distribución que las conforman que se muestra en la siguiente



FIGURA 1. ESTRUCTURAS DE LAS RGD

---

## 2.3 ZONA DE DISTRIBUCION VALLE DE MEXICO NORTE

---

El desarrollo del presente trabajo se realizó en CFE Distribución Valle de México Norte, la cual es una de las 16 divisiones de Distribución que conforman la CFE a nivel nacional y es la encargada de distribuir el servicio de energía eléctrica en el norte del Valle de México, atendiendo a 35 municipios del Estado de México y parte de 02 delegaciones de la Ciudad de México. Está dividido en siete zonas, Basílica, Cuautitlán, Atizapán, azteca, Tlalnepantla, Ecatepec y Naucalpan.

En el desarrollo del presente trabajo nos enfocamos en la zona Cuautitlán, la cual cuenta con 5 Centros de Distribución (CD) los cuales son CD Coyotepec, CD Zumpango, CD Huehuetoca, CD Victoria, CD Cuautitlán.

---

## 2.4 ZONA DE DISTRIBUCION CUAUTITLAN

---

La zona de distribución Cuautitlán está compuesta por:

Una subestación con una Relación de Transformación (RT) 230/23 kV, con capacidad de 180 MVA y cinco con una RT de 85/23 kV, con capacidad de 385 MVA, 66 circuitos de 23 kV con una longitud total de 2139 km, cuenta con 3,135 equipos de protección y seccionamiento y con 10,833 transformadores instalados de 23 kV en el primario con una capacidad total de 476,782.5 kVA.

SUBESTACION	NUM. CTOS
COFRADIAS 1	2
CUAUTITLAN	13
COYOTEPEC	10
HUHUETOCA	4
JOROBAS	2
TIZAYUCA	7
TEEPOTZOTLAN	4
VICTORIA	14
VITO	1
ZUMPANGO	9

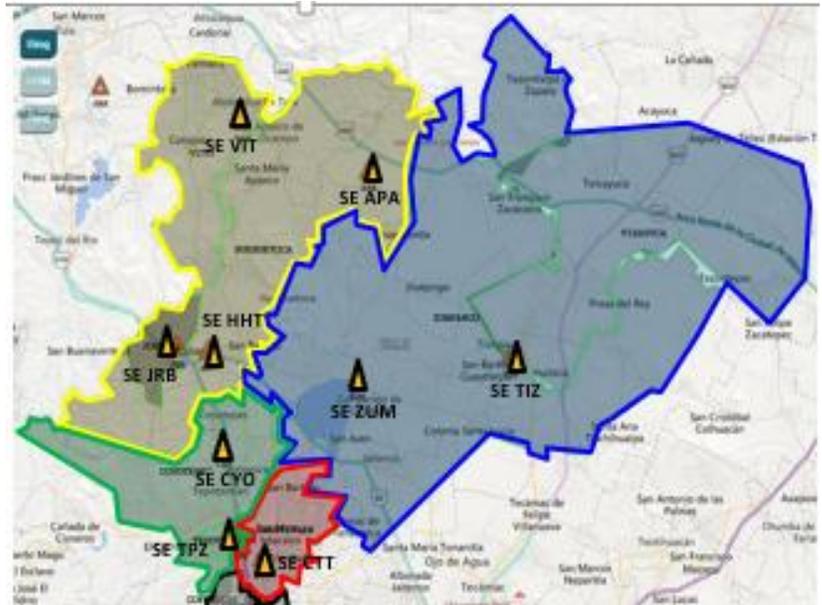


FIGURA 2. Zona Cuautitlán y sus 5 CD's

## 2.5 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Un Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es el conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y fiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares.

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de fiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en: Industriales, Comerciales, Urbanos, y Rurales.

Los sistemas de Distribución industrial comprenden a los grandes consumidores de energía eléctrica, que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diésel.

Los sistemas de distribución comerciales son un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales. Este tipo de sistemas tiene sus propias características como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia.

Los sistemas de distribución urbanos alimentan la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección de los equipos y su correcto dimensionamiento.

Los sistemas de distribución rural se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el coste del KWh consumido. En algunos casos es incluso justificado, desde el punto de vista económico, la generación local en una fase inicial, y sólo en una fase posterior, puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande

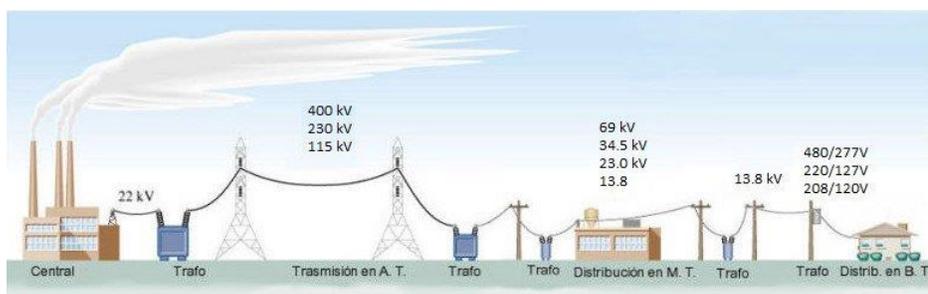


FIGURA 3. SISTEMA DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

---

## 2.6 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

---

Las Redes de Distribución (RD) forman una parte muy importante de los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios y éstos se encuentran dispersos en grandes territorios. Así pues, la generación se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes. Por esta razón el sistema de distribución resulta todavía más complejo que el sistema de potencia.

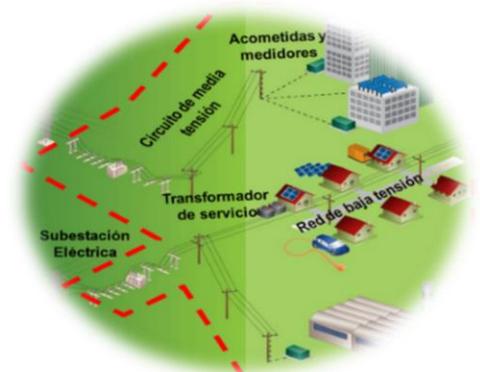
El sistema eléctrico de potencia (SEP) es el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo. En operación normal todas las máquinas del sistema operan en paralelo y la frecuencia en todo el SEP es constante.

La suma de inversiones en la generación y la distribución supera el 80 % de las inversiones totales en el SEP. Es fácil suponer que la mayor repercusión económica se encuentra en el sistema de distribución, ya que la potencia generada en las plantas del sistema se pulveriza entre un gran número de usuarios a costos más elevados. Esto obliga a realizar las inversiones mediante la aplicación de una cuidadosa ingeniería en planificación, diseño, construcción y operación de alta calidad.

La definición clásica de un sistema de distribución, desde el punto de vista de la ingeniería, incluye lo siguiente;

- a) Subestación principal de potencia
- b) Sistema de subtransmisión
- c) Subestación de distribución.
- d) Alimentadores primarios,
- e) Transformadores de distribución
- f) Secundarios y servicios.

La FIGURA 4 muestra los componentes principales del sistema de potencia y del sistema de distribución.



Las funciones de los elementos de un sistema de distribución son:

- 1) Subestación principal de potencia. Ésta recibe la potencia del sistema de transmisión y la transforma al voltaje de subtransmisión. Los voltajes de transmisión pueden ser de 230 KV, 400 KV y mayores, pero actualmente existen subestaciones de distribución de 230 KV. La potencia de la subestación principal es normalmente de cientos de MW.



FIGURA 5. SUBESTACION PRINCIPAL DE POTENCIA

- 2) Sistema de subtransmisión. Son las líneas que salen de la subestación (SE) principal para alimentar a las SE de distribución. Las tensiones de subtransmisión son de 115 KV y menos, aunque ya 230 KV puede considerarse también como subtransmisión. El sistema de subtransmisión tiene normalmente potencias de cientos de MW.

Líneas que salen  
de la subestación  
principal



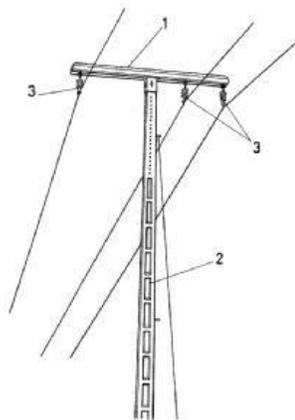
FIGURA 6. SISTEMA DE SUBTRANSMISION

- 3) Subestación de distribución. Se encarga de recibir la potencia de los circuitos de subtransmisión y de transformarla al voltaje de los alimentadores primarios. Su voltaje va desde 66 KV hasta 230 KV. Maneja potencias de decenas de MW, por ejemplo, bancos de transformadores de 60 o 75 MVA.



FIGURA 7. SUBESTACION DE DISTRIBUCION

- 4) Alimentador primario. El trabajo del sistema de alimentadores de primario es el de entregar potencia a los transformadores de distribución o cerca de la ubicación de los clientes, son los circuitos que salen de las SE de distribución.



Media tensión

FIGURA 8. ALIMENTADOR PRIMARIO

- 5) Transformador de distribución. Reduce el voltaje del alimentador primario al voltaje de utilización del usuario. Los voltajes de utilización comunes son de 440 V y de 220 V entre fases. Los transformadores de distribución para poste tienen potencias normalizadas de hasta 3 00 KVA y los de redes de subterráneas de hasta 750 KVA; en edificios grandes existen transformadores del orden de 2 000 KVA.



FIGURA 9. TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCION

- 6) Secundarios y servicios. Los circuitos secundarios (baja tensión) pueden mover potencia únicamente distancias cortas, así que los transformadores de distribución deben de estar localizados cerca de los clientes, distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios. Las potencias van desde 5 hasta 300 KVA en redes aéreas y hasta 750 KVA y más en redes subterráneas. En las redes subterráneas se utilizan redes automáticas de baja tensión que se abastecen de energía a través de unos 4 o más alimentadores y múltiples transformadores de distribución, por lo que su potencia es muy grande.

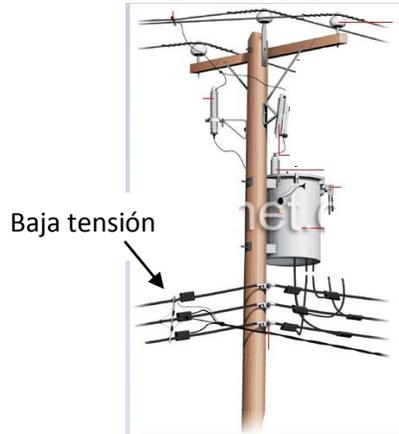


FIGURA 10 ALIMENTADORE SECUNDARIO

Existe en el mundo una amplia gama de combinaciones de voltajes de transmisión, subtransmisión y distribución; sin embargo, en nuestro país se tiende a establecer 13.2 y 23 KV como voltajes de distribución (alimentadores primarios).

En México aún se tienen voltajes de distribución de 6,13.2 y 23 KV en los sistemas de distribución de la Compañía de Luz y de la CFE, ya que no se ha terminado de hacer el cambio de 6 a 23 K V en algunas áreas de la ciudad de México. La combinación óptima de los voltajes de subtransmisión y distribución, desde el punto de vista económico, depende de varios factores, tales como densidad de carga, área que se sirve, carga total atendida, topografía del terreno, rango de crecimiento de la carga, disponibilidad de derechos de vía, sistemas de voltajes existentes, etcétera.

---

## 2.7 ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN.

---

Son aquellos elementos encargados de llevar la energía eléctrica desde las subestaciones de potencia/distribución hasta los transformadores de distribución. Los conductores normalmente van soportados en postes cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas.

Existen 6 tipos, los cuales son los más comunes:

- Arreglo sencillo del alimentador
- Arreglo con dos alimentadores y dos interruptores
- Arreglo de un alimentador principal y otro de transferencia
- Arreglo con dos alimentadores y un interruptor
- Arreglo de alimentador en anillo
- Arreglo con un interruptor en medio.

Los factores a tomar en cuenta son: caída de voltaje, proyección de la carga, pérdidas de la potencia, costo de la disponibilidad del equipo, voltaje de subtransmisión, longitud de los alimentadores, políticas de la empresa, subestaciones adyacentes y voltajes en los alimentadores.

Los componentes básicos de un alimentador primario son:

**Troncal:** Es el tramo de mayor capacidad del alimentador que transmite la energía eléctrica desde la subestación de potencia/distribución a los ramales. En los sistemas de distribución estos conductores son de calibres gruesos como 2/0, 3/0 y hasta 795 MCM, ACSR (calibre de aluminio con alma de acero), dependiendo del valor de la densidad de carga.

**Ramal:** Es la parte del alimentador primario energizado a través de un troncal, en el cual van conectados los transformadores de distribución y servicios particulares suministrados en media tensión. Normalmente son de calibre menor al troncal.

---

## 2.8 CONDUCTORES PARA LÍNEAS AÉREAS

---

Los conductores, por las características eléctricas propias del material, pueden ser de cobre, aluminio y aluminio-acero y se presentan normalmente desnudos. Estos conductores van sujetos a los aisladores; éstos, a través de los herrajes, son colocados en las crucetas, que a su vez, se colocan sobre el poste que los mantiene distanciados del suelo.

### **Cable reforzado con acero conductor de aluminio**

El cable reforzado con acero conductor de aluminio (ACSR) es un tipo de conductor trenzado de alta capacidad y alta resistencia que se usa típicamente en líneas eléctricas aéreas. Los hilos exteriores son de aluminio de alta pureza, elegidos por su buena conductividad, bajo peso y bajo costo. El hilo central es de acero para fuerza adicional para ayudar a soportar el peso del conductor. El acero es más resistente que el aluminio, lo que permite que se aplique una mayor tensión mecánica al conductor. El acero también tiene una menor deformación elástica e inelástica (alargamiento permanente) debido a la carga mecánica (por ejemplo, viento y hielo), así como un menor coeficiente de expansión térmica bajo la carga

de corriente. Estas propiedades permiten que ACSR se hunda significativamente menos que los conductores de aluminio.



FIGURA 11. Cable reforzado con acero conductor de aluminio

### **Cable aislado unipolar**

Es un conductor formado por una cuerda de aluminio sobre la que se pone una fina capa de cloruro de polivinilo, plastificado y estabilizado, que impermeabiliza al conductor y lo protege de los agentes atmosféricos, evitando de esta forma los efectos que le pudiera producir los ambientes más desfavorables, incluso los muy corrosivos.

Su aplicación se reduce a líneas de baja tensión.

Este cable es adecuado para líneas aéreas sobre aisladores, pero no para la derivación de una línea aérea al interior de un edificio.

Las ventajas de este tipo de cables son:

Gran duración de la línea en medios corrosivos, debido a la protección ejercida por la capa de cloruro de polivinilo

Mayor regularidad en el suministro de energía en la línea, debido a la ausencia de cortocircuitos ocasionados por contactos accidentales, ramas de árboles u otros elementos que puedan caer o tocar a los conductores

Eliminación total de riesgos de accidentes, debidos a contactos de personas con la línea y descuidos en el trabajo de los operarios próximos a una línea de tensión

### **Cable aislado multipolar trenzado**

En las redes de distribución, para reemplazar a las líneas aéreas de cobre desnudo o aislado, se ha generalizado un nuevo tipo de montaje a partir de cables trenzados.

Están constituidos por tres cables unipolares de campo radial, aislados individualmente sin funda exterior, cableados sobre un núcleo central formado por una cuerda portante de acero de 50 mm<sup>2</sup> de sección, protegida generalmente con una capa de cloruro de polivinilo.

Las ventajas que presentan los cables trenzados son:

- Ventaja de acoplar los tres conductores alrededor de un cable fiador
- El calentamiento mutuo entre fases es notablemente más débil que en un cable trifásico
- Facilidad de fabricación, montaje y reparación, al presentarse las averías casi siempre en una sola fase
- En la alimentación de pequeños núcleos rurales, en la que las líneas desnudas presentan peligro y la canalización subterránea es muy costosa, se emplea este tipo de cable como solución intermedia, para mejorar la estética
- La ausencia de soportes facilita la circulación sobre las aceras y las calles

Las intensidades de carga admisibles se han determinado según normas para cables instalados al aire con temperatura ambiente de 40 °C y temperatura máxima, en el conductor, de 90 °C en régimen permanente.



FIGURA 12 Cable aislado multipolar trenzado

---

## 2.9 DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION

---

El diseño de las Redes Generales de Distribución tiene como finalidad, llevarse la electricidad por la ruta más corta con las pérdidas mínimas que la economía aconseje, con una caída de tensión mínima, con una confiabilidad y respaldos que garanticen la continuidad esperada (EPROSEC).

A partir de los diseños con los que cuente cada circuito podemos empezar hacer movimientos de reubicación en ellos.

A grandes rasgos, se puede afirmar que existen dos tipos de diseños fundamentales de sistemas de distribución: radiales y mallados.

Un **sistema radial** es aquel que presenta un solo camino simultáneo al paso de la potencia hacia la carga sin retorno el cual parte desde una subestación y se distribuye por forma de “rama”.

Este tipo de sistema de distribución tiene como característica básica, el que está conectado a un sólo juego de barras.

Existen diferentes tipos de arreglo sobre este sistema, la elección del arreglo está sujeta a las condiciones de la zona, demanda, confiabilidad de continuidad en el

suministro de energía, costo económico y perspectiva a largo plazo, este tipo de sistemas es instalado de manera aérea y/o subterránea.

Este tipo de sistema, es el más simple y el más económico debido a que es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipo, sin embargo, tiene varias desventajas por su forma de operar:

- El mantenimiento de los interruptores se complica debido a que hay que dejar fuera parte de la red.
- Son los menos confiables ya que una falla sobre el alimentador primario principal afecta a la carga.

Un **sistema mallado o malla**, por el contrario, tiene más de un camino simultáneo para el flujo de potencia, este provee una mayor confiabilidad en el servicio que las formas de distribución radial o en anillo ya que se le da alimentación al sistema desde dos plantas y le permite a la potencia alimentar de cualquier planta de poder a cualquier subestación de distribución. La FIGURA13 muestra un sistema radial y uno mallado.

Todas las estructuras de los sistemas de distribución se pueden clasificar en radiales y mallados. Las estructuras que se usan más comúnmente en los sistemas de subtransmisión, en alimentadores primarios y en las redes secundarias son las siguientes:

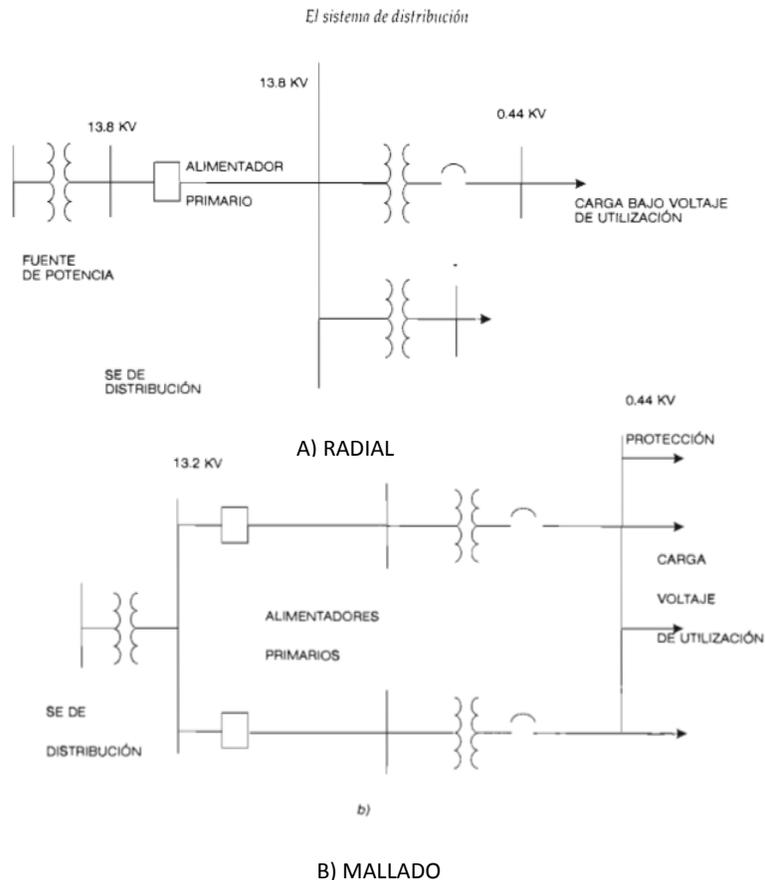


FIGURA 13. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN A) RADIAL, B)

Un **Sistema Anillo** es aquel que cuenta con más de una trayectoria entre la fuente o fuentes y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica. Este sistema comienza en la estación central o subestación y hace un “ciclo” completo por el área a abastecer y regresa al punto de donde partió. Lo cual provoca que el área sea abastecida de ambos extremos, permitiendo aislar ciertas secciones en caso de alguna falla.

Este sistema es más utilizado para abastecer grandes masas de carga, desde pequeñas plantas industriales, medianas o grandes construcciones comerciales donde es de gran importancia la continuidad en el servicio.

Cualquier variante del sistema en anillo, normalmente provee de dos caminos de alimentación a los transformadores de distribución o subestaciones secundarias. En general, la continuidad del servicio y la regulación de tensión que ofrece este sistema son mejor que la que nos da el sistema radial. La variación en la calidad del servicio que ofrecen ambos sistemas, depende de las formas particulares en que se comparen.

Regularmente, el sistema anillo tiene un costo inicial mayor y puede tener más problemas de crecimiento que el sistema radial, particularmente en las formas utilizadas para abastecer grandes cargas. Esto es principalmente porque dos circuitos deben ponerse en marcha por cada nueva subestación secundaria, para conectarla dentro del anillo. El añadir nuevas subestaciones en el alimentador del anillo obliga a instalar equipos que se puedan anidar en el mismo.

A continuación, mostramos las ventajas en operación de este sistema:

Son los más confiables ya que cada carga en teoría se puede alimentar por dos trayectorias.

Permiten la continuidad de servicio, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.

Al salir de servicio cualquier circuito por motivo de una falla, se abren los dos interruptores adyacentes, se cierran los interruptores de enlace y queda restablecido el servicio instantáneamente.

Si falla un transformador o una línea la carga se pasa al otro transformador o línea o se reparte entre los dos adyacentes.

Si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados, al dejarlo desenergizado, el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, previo cierre automático del interruptor de amarre

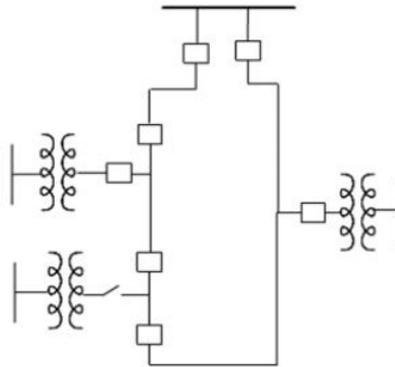


FIGURA 14. SISTEMA ANILLO

La selección de la estructura del sistema de distribución depende principalmente de la continuidad del servicio deseada, de la regulación del voltaje y de los costos. Algunas veces el sistema limita la aplicación de ciertas estructuras de distribución, ya que el diseño se debe hacer considerando las características del sistema, no como algo aislado.

---

### 3.0 TIPOS DE CARGAS

---

La determinación de las cargas eléctricas es el punto de partida para la solución de problemas técnicos y económicos complejos, relacionados con el proyecto y ejecución de redes de distribución. La carga se puede definir como la cantidad que caracteriza el consumo de potencia por parte de receptores o consumidores de energía eléctrica. Un receptor es un consumidor individual y un consumidor es un grupo de receptores.

La electrificación puede atender en general los siguientes tipos de cargas:

- 1) Residencial: urbana, suburbana y rural. La carga residencial tiene la menor densidad respecto a la carga comercial e industrial y decrece de la urbana a la rural, de tal forma que resulta poco económica la electrificación rural, aunque se justifica desde el punto de vista social. Actualmente en las zonas rurales se utilizan sistemas de distribución monofásicos, así como plantas de energía solar e híbridas.
- 2) Carga comercial: áreas céntricas, centros comerciales y edificios comerciales. Las densidades de carga en estos casos son mayores.
- 3) Carga industrial: pequeñas industrias y grandes industrias. Algunas veces la carga industrial se incluye en las cargas comerciales. La carga industrial en general puede tener grandes potencias y contratar el servicio en altas tensiones, como 115 KV o más.

La carga, como tal, normalmente se refiere al pico de demanda diversificada o, lo que es lo mismo, al pico de demanda coincidente.

El pico de demanda diversificada para un gran número de usuarios es la cifra que se utiliza para definir la densidad de carga.

En áreas residenciales y rurales el pico de demanda diversificada por usuario se considera desde los transformadores de la subestación de distribución, y en áreas comerciales e industriales, desde el transformador de distribución.

La densidad de carga se determina sumando las cargas comprendidas dentro del área servida y refiriendo a la unidad de área. La densidad de carga puede expresarse en KV A por km<sup>2</sup> o en K VA por km. Se pueden usar también otras unidades de potencia y de área, como KW, MVA etc.

La TABLA 1 muestra algunos rangos típicos de densidad de carga.

Rangos de la densidad de carga

<i>Tipo de área</i>	<i>Densidad de carga KVA/km<sup>2</sup></i>	<i>Observaciones</i>
Residencial de baja densidad —rural—	3.86 – 115	Se toma el número de granjas o residencias por su demanda diversificada. 2 KVA cada una.
Residencial de media densidad —suburbana—	115 – 464	Se basa en casas del orden de 600 m <sup>2</sup> que cubren 20% del área total con carga promedio de 0.5 a 2 KVA por casa.
Residencial de alta densidad —urbana—	464 – 1 864	Áreas de 600 m <sup>2</sup> que cubren 80% del área total, con carga promedio de 0.5 a 2 KVA por casa.
Residencial de extra alta densidad	5 794 – 7 725	Casas y edificios con calefacción y aire acondicionado. Saturación de edificios en toda el área.
Comercial	3 862 – 115 880	Este rango cubre desde pequeños centros comerciales hasta las áreas céntricas de grandes ciudades.

TABLA 1. DENSIDAD DE CARGA

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA.

El comportamiento de la demanda de energía eléctrica, presenta parámetros característicos que son necesarios determinar y especificar para el diseño y cálculo de los sistemas eléctricos de distribución. En este contexto, cobra real importancia el pronóstico de la demanda y el cálculo de las pérdidas de potencia y energía en el sistema eléctrico de distribución.

#### Determinación de la Demanda

La demanda de energía eléctrica, depende del nivel de vida, lugar geográfico, tipo de consumidor. Para determinar la demanda de potencia, se debe considerar los siguientes parámetros:

Densidad de Carga son los kvas o MVA's por unidad de área o kW por cada 200 m. Es apropiado para estimar la demanda de una región y poder dimensionar los alimentadores y puestos de transformación.

Una parte o sección de una región que tiene características más o menos uniformes, en cuanto a construcciones, nivel económico de los usuarios y tipo de actividad. Solo aplicable en regiones donde existe energía eléctrica, consiste en seleccionar un área típica de carga para obtener una muestra representativa sobre:

- Número de consumidores
- Consumo total en el mes de mayor registro.

Si se representa las cargas concentradas en puntos de consumo, el centro de carga está determinado por el baricentro de los puntos considerados. La adecuada proyección de la demanda y la planificación de la expansión, garantizará el suministro de EE a los usuarios. La proyección de la demanda puede ser realizada mediante un ajuste de una función en base al método de los mínimos cuadrados.

---

### **3.2 PROGRAMA DE AMPLIACION Y MODERNIZACION DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION**

---

El PROGRAMA DE AMPLIACION Y MODERNIZACION DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION (PAMRGD) tiene como fin la minimización de los costos de prestación del servicio, reduciendo los costos de congestión y considerando los criterios de eficiencia;

- ◆ Calidad
- ◆ Confiabilidad
- ◆ Continuidad
- ◆ Seguridad de la Red.

Para cumplir con la propuesta de CFE Distribución estructuró la “Guía para la Selección de Proyectos Rentables de las Redes Generales de Distribución”, con la finalidad de seleccionar Proyectos, la cual detalla la metodología a seguir para incrementar la asertividad en la identificación de proyectos de infraestructura.

Los programas de ampliación y modernización para los elementos de las Redes Generales de Distribución (RGD) que no correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista serán autorizados por la Secretaría de Energía (SENER) a propuesta de los Distribuidores interesados

Aquí se presentan los Proyectos de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución que se tienen previstos a ser realizados:

- Regularización de colonias populares.
- Adquisición de acometidas y medidores de distribución.
- Confiabilidad de las Redes Generales De Distribución
- Modernización de subestaciones de distribución.
- Modernización de las Redes Generales de Distribución.
- Programa de Crecimiento y Reordenamiento de las Redes Generales de Distribución (PCR)

El planteamiento de los objetivos estratégicos que atenderán la problemática detectada en el desempeño de los indicadores se enfoca principalmente a:

1. Satisfacer la demanda incremental.
2. Mejorar / incrementar la Confiabilidad.
3. Mejorar / incrementar la Calidad de la Energía.
4. Reducción Pérdidas de Energía Eléctrica.
5. Ampliación / modernización de la medición.

Dentro de este proyecto se encuentra nuestro proyecto a desarrollar que lleva por nombre Programa de Crecimiento y Reordenamiento de las Redes Generales de Distribución del cual hablaremos en el siguiente tema

---

### **3.3 INTRODUCCION AL PROGRAMA DE CRECIMIENTO Y REORDENAMIENTO DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION (PCR)**

---

Las redes generales de distribución han experimentado un crecimiento sumamente importante en los últimos 15 años.

Un aspecto que puede apreciarse en los últimos años es la mejora en los indicadores de la confiabilidad en el servicio al cliente, lo que deja ver el nivel de compromiso que cada vez es mayor y más exigente de parte de los usuarios.

La Red General de Distribución es muy dinámica y compleja, debido a que cada instante se modifica.

El crecimiento de la demanda en la RGD es vertical y horizontal, por lo que su planeación debe realizarse continuamente a corto, mediano y largo plazo. Las necesidades de los usuarios es cambiante, conforme avanza la tecnología, lo que obliga a modificar constantemente la operación y topología de la RGD.

Para que la planeación y operación de la RGD sea más eficiente se cuenta con el “Sistema para realizar estudios SYNERGI”

Estas han estado ajustándose a al crecimiento de Calles y avenidas, a la construcción de fraccionamientos y desarrollos habitacionales, a la creación de zonas industriales y comerciales, a un plan inadecuado y/o desapegado al desarrollo urbano, y a la falta de un Plan de Crecimiento y Reordenamiento de la RGD, es por ello que se creó dicho programa.

---

### **3.4 PROGRAMA DE CRECIMIENTO Y REORDENAMIENTO DE LAS REDES GENERALES DE DISTRIBUCION**

---

El PROGRAMA DE CRECIMIENTO Y REORDENAMIENTO(PCR) es el documento técnico en el que se plasman las disposiciones para regular el crecimiento y reordenamiento de la Red General de Distribución, en él se expresan las previsiones para la electrificación de los centros de carga urbanos y rurales, de acuerdo a las estrategias y objetivos establecidos por la EPS para la planeación de una RGD eficiente y confiable, que se opere y mantenga con la máxima seguridad y economía, adecuada a las necesidades de los usuarios, los trabajadores y el entorno.

Este programa tiene como fin:

- Reducir las pérdidas eléctricas al reconfigurar la RGD en Media Tensión (MT)
- Mejorar la confiabilidad de la RGD al retirar las instalaciones sobrantes en MT.
- Disminuir errores en la operación de la RGD.
- Reducir el tiempo promedio de restablecimiento en MT.
- Incrementar la seguridad del personal de campo.
- Disponer de mayor mano de obra al retirar instalaciones innecesarias.

---

### **3.5 ¿QUE PRETENDE EL PCR?**

---

Actualmente las condiciones de las RGD cuentan con un troncal principal de conductor grueso el cual solo sigue una trayectoria sea o no en línea recta, del que después se desprenden ramales o bien los multi-ramales los cuales cuentan con una troncal principal corta el cual después se divide en dos o más ramales principales

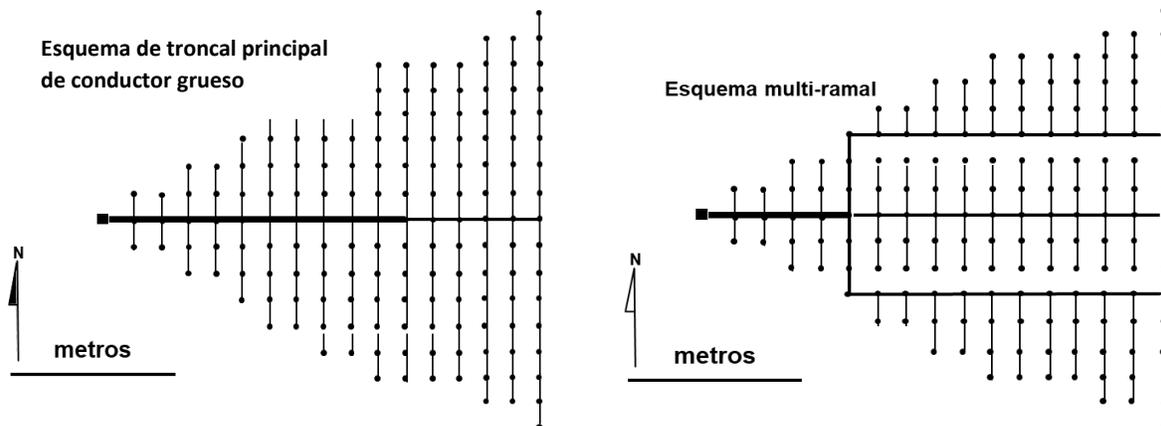


FIGURA 15. CONDICIÓN ACTUAL DE LAS RGD

Con la aplicación del PCK se pretende repartir la corriente a la salida de la subestación en multi-troncales, con un ancho de banda que nos permita distribuir la media tensión en forma ordenada, considerando los criterios de planeación y con esto tener una mejor calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad en las redes de distribución también al utilizar la topología de multi-troncales, el calibre de conductor es menor, lo cual reduce los costos de los proyectos

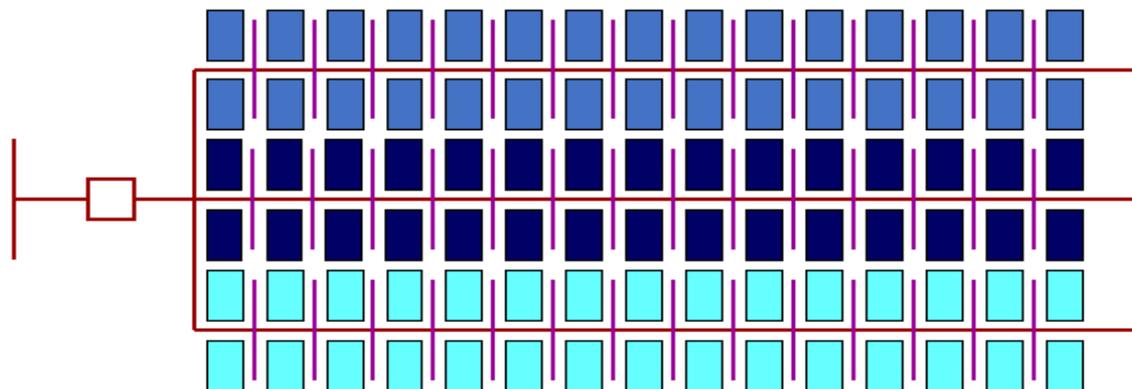


FIGURA 16 CONDICIÓN DESEADA DE LAS RGD

---

## 3.6 HERRAMIENTAS DE TRABAJO

---

Las herramientas de trabajo son las que nos ayudan y facilitan la realización de esté. Para el desarrollo de este proyecto las herramientas a utilizar son: las páginas web y programas institucionales de CFE que nos serán de gran utilidad.

El SIMOCE nos brinda la calidad de la energía por día, mes, año, el comportamiento de la energía por cada circuito.

- SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DE LA ENERGIA (SIMOCE)



FIGURA 17. LOGO SIMOCE

El PSED nos brinda demandas máximas, consumo anual, factor de cargas, factor de perdidas, perdidas de potencia, energía perdida, longitud, factor de potencia, factor de utilización ,porcentaje de energía perdida, por circuito

- REPORTE NACIONAL DE PERDIDAS (PSED)



FIGURA 18. LOGO PSED

El SIAD nos brinda nomenclatura, estadística volumétrica por circuito, el cual cuenta de todos los componentes del mismo.

- SISTEMA INTEGRAL ADMINISTRACION DISTRIBUCION (SIAD)

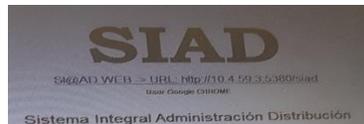


FIGURA 19. LOGO SIAD

El SIGED nos brinda las rutas de los circuitos actualizadas, y ubicación de los usuarios importantes, centros de carga, ubicación de transformadores de manera gráfica.

- SIGED



FIGURA 20. LOGO SIGED

Nos servirá para simular nuestras propuestas y ver los resultados que nos brindaran los cambios realizados

- SYNERGI VERSION 6.4



FIGURA 21. LOGO SYNERGI ELECTRIC

### 3. DESARROLLO

El presente trabajo se lleva acabo con la finalidad de obtener como resultado una mayor confiabilidad y optimización a la red de distribución, dentro de la zona de distribución Cuautitlán. La aplicación del PCR se propuso para el Centro de Distribución (CD) Coyotepec específicamente a los circuitos CYO53010, CYO53030, CYO53050.

---

#### 3.1 DATOS DEL CD COYOTEPEC, ZONA CUAUTITLAN PERTENECIENTE A LA DIVISION VALLE DE MEXICO NORTE

---

El CD Coyotepec cuenta con una amplia zona geográfica que se ha urbanizado recientemente FIGURA 22

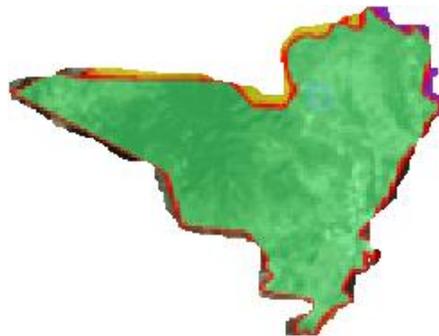


FIGURA 22. CD COYOTEPEC

La CFE Distribución ha atendido las necesidades de energía eléctrica de acuerdo a las solicitudes de servicio eléctrico.

Por lo anterior la aplicación del PCR en áreas urbanizadas es necesaria puesto que ya cuenta con calles trazadas y definidas para mejorar el suministro de energía eléctrica, lo cual indica optimizar trayectorias de Media Tensión así como la

ubicación estratégica de transformadores de distribución para brindar el servicio en baja tensión.

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del área a trabajar son los siguientes:

- Circuitos con demanda mayor a 7.5 MVA
- Circuitos con alto porcentaje de pérdidas
- Circuitos con cargas compuestas (industrial y domestica)
- Cargas industriales de alto consumo
- Delimitaciones de la zona geográfica a trabajar

Estos criterios son tomados en base al PCR.

Los criterios tomados para la aplicación del PCR en el CD Coyotepec están listados por la siguiente tabla obtenida del PSED Y SIAD

SUBESTACION	BANCO	CAPACIDAD	RELACION DE TRANSFORMACION	Circuito	Demanda Máxima (kW)	Energía Perdida (kWh)	Porcentaje Energía Perdida	LONGITUD(Km)	Num. de Transformadores
COYOTEPEC	BANCO 1	30	85/23	CYO53010	9,805.00	865,961.18	1.39	24.81	126
				CYO53020	5,551.35	159,623.03	0.59	25.64	153
				CYO53030	2,497.90	21,996.87	0.18	18.49	85
COYOTEPEC	BANCO 2	30	85/23	CYO53050	5,680.00	142,058.66	0.45	31.16	251
				CYO53060	6,112.01	322,132.55	0.79	35.04	132
				CYO53070	3,798.24	147,453.38	0.8	3.68	2
				CYO53080	6,398.80	824,940.19	1.94	10.56	16
COYOTEPEC	BANCO 3	30	85/23	CYO53090	1,903.09	18,573.16	0.26	16.41	41
				CYO53110	5,523.51	120,042.99	0.41	35.4	232
				CYO53120	13,941.90	3,756,604.34	4.01	40.96	308

TABLA 2. SUBESTACIÓN, BANCOS, CAPACIDAD, CIRCUITOS, DEMANDA MÁXIMA (CIERRE 2018), LONGITUD Y NÚMERO DE TRANSFORMADORES.

En la FIGURA 23 se observan los circuitos que componen el CD Coyotepec:

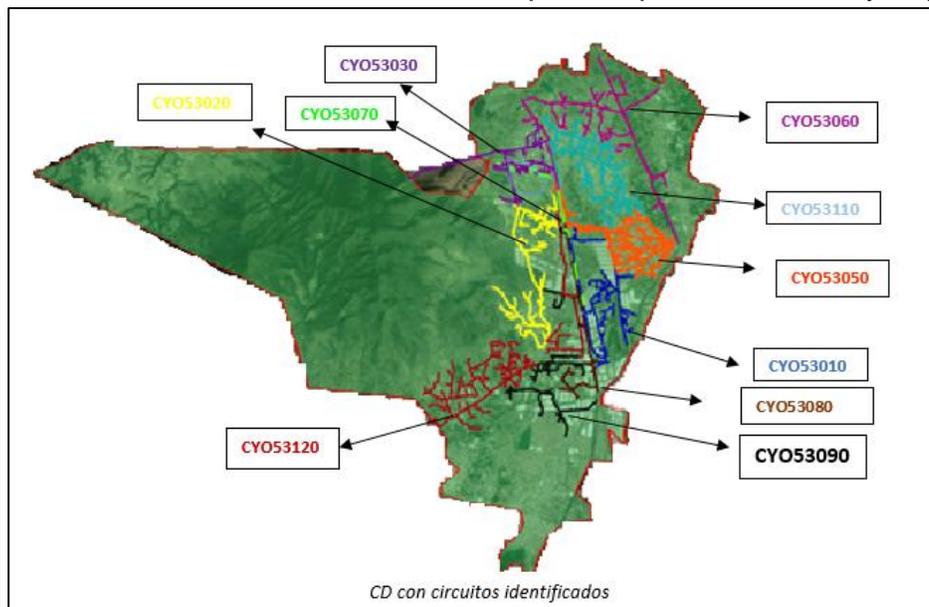


FIGURA 23. CD CON CIRCUITOS IDENTIFICADOS

---

## 3.2 ANÁLISIS DE LOS CIRCUITOS SELECCIONADOS PARA APLICAR EL PCR

---

Con la información recabada se procede a realizar el análisis de los circuitos de acuerdo a lo indicado por el PCR, para tales casos tomamos en cuenta algunos de los criterios ya antes mencionados, marcados por dicho programa.

Para el circuito CYO53010 se tomaron en cuenta los siguientes criterios para aplicación del PCR:

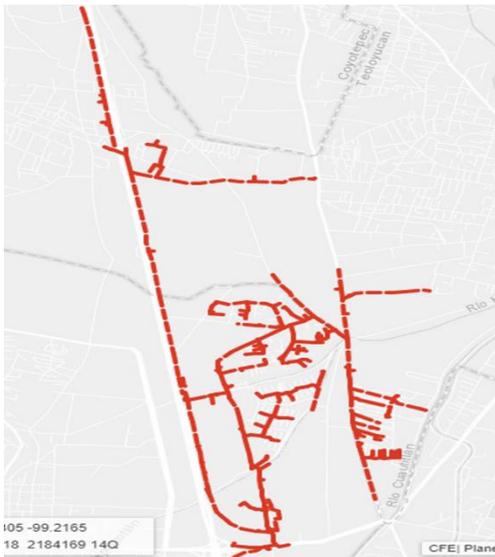


FIGURA 24. TRAYECTORIA CIRCUITO CYO53010

- Circuitos con demanda mayor a 7.5 MVA
- Circuitos con cargas compuestas (industrial y domestica)
- Cargas de alto consumo
- Delimitaciones de la zona geográfica a trabajar

Para el circuito CYO 53030 se tomaron en cuenta los siguientes criterios para la aplicación del PCR



FIGURA 25. TRAYECTORIA CIRCUITO53030

- Circuitos con cargas compuestas (industrial y domestica)
- Cargas de alto consumo
- Delimitaciones de la zona geográfica a trabajar
- Circuito sin aplicar PCR anteriormente

Para el circuito CYO53050 se tomaron en cuenta los siguientes criterios para la aplicación del PCR



FIGURA 26. TRAYECTORIA CIRCUITO53050

- Circuitos con cargas compuestas (industrial y domestica)
- Cargas de alto consumo
- Circuito sin aplicar PCR anteriormente
- Delimitaciones de la zona geográfica a trabajar
- Circuito sin aplicar PCR anteriormente

---

### 3.3 PCR PASO A PASO

---

Para elaboración del PCR se siguieron los siguientes pasos

**PASO 1:** Se hace un obtienen las trayectorias de los circuitos de media tensión a los cuales se les aplicara PCR mediante el programa SIGED

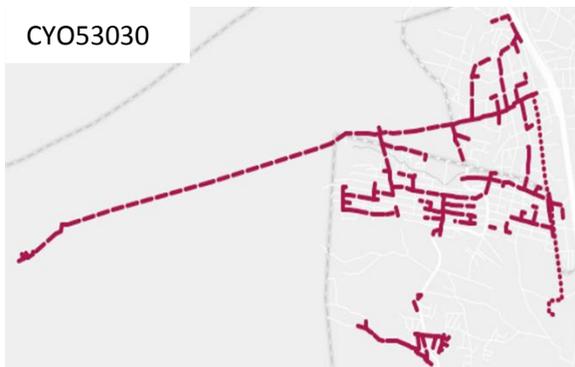
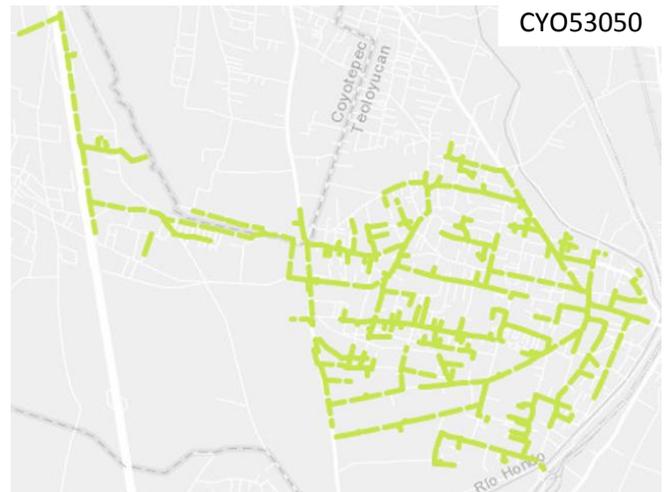
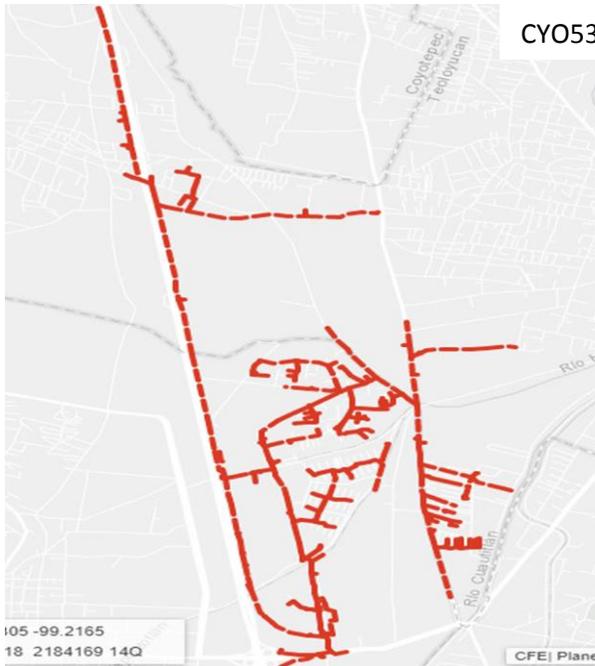


FIGURA 27. TRAYECTORIAS DE CIRCUITOS

**PASO 2:** Una vez teniendo las trayectorias de los circuitos por aplicar PCR se delimita el área de influencia de cada uno de los circuitos.

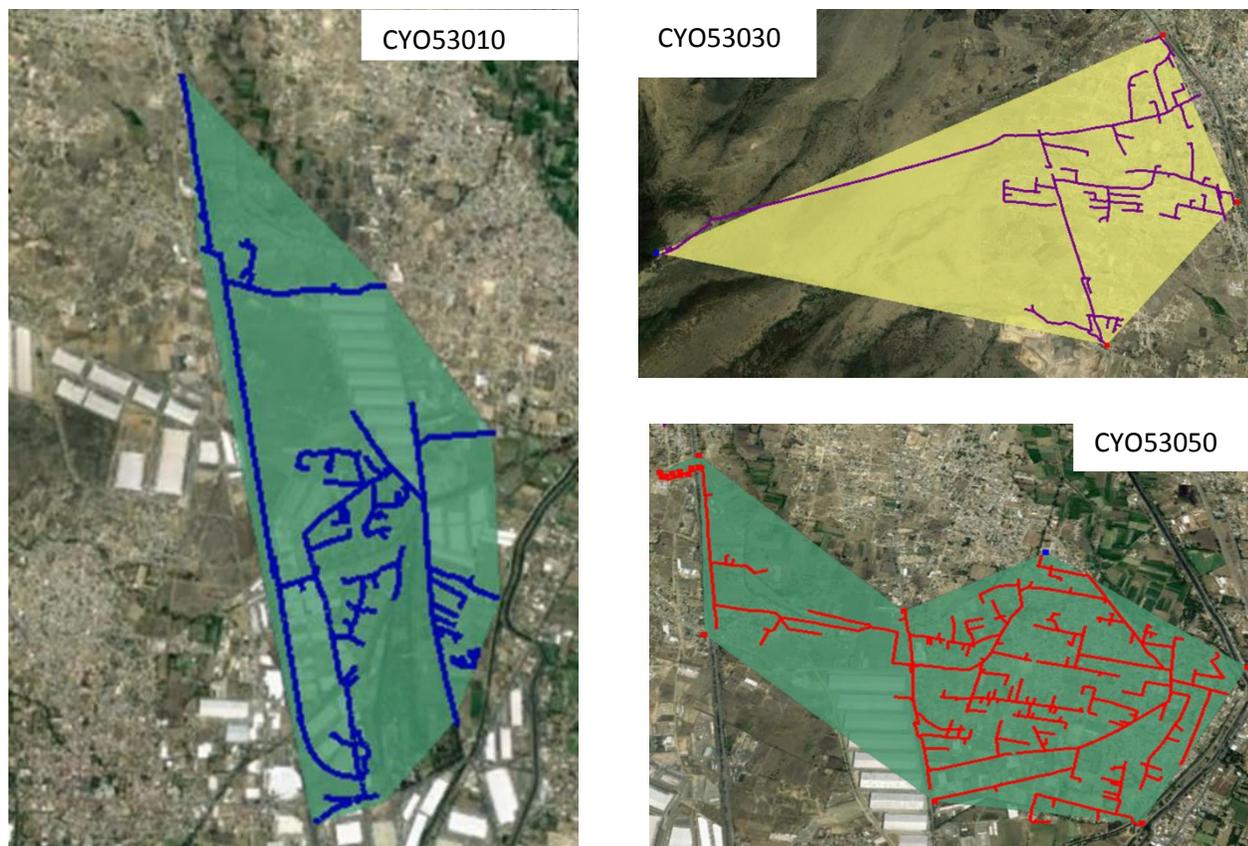


FIGURA 28. ÁREAS DE INFLUENCIA DE LOS CIRCUITOS

## 5. RESULTADOS

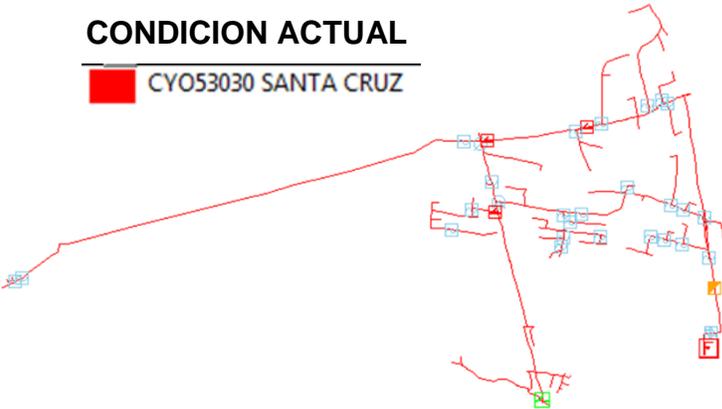
**PASO 3:** En este paso la comparación de las condiciones actuales con las condiciones propuestas se mostrara por circuito.

La zona geográfica del circuito **CYO53030** se analizó, encontrando calles urbanizadas, las cuales facilitan el libre acceso a los trabajadores de CFE. La aplicación del PCR en este circuito tiene la opción de enlazar el circuito con otros circuitos.

La trayectoria del circuito se muestra en la FIGURA 29 obtenida del SYNERGI.

### CONDICION ACTUAL

**CY053030 SANTA CRUZ**



### CONDICION PROPUESTA

**CY053030 SANTA CRUZ**

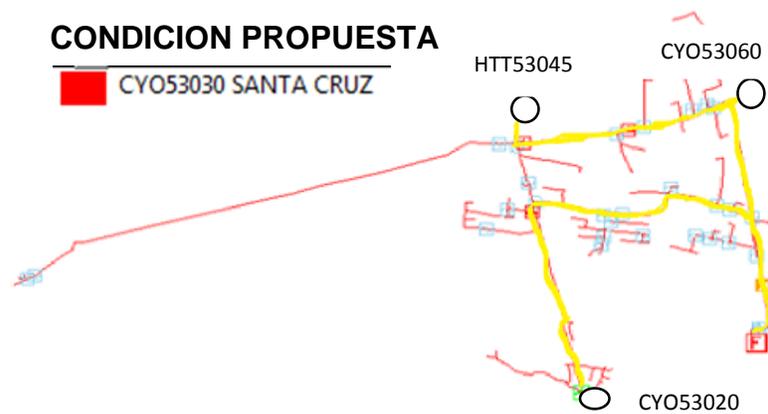


FIGURA 29. CONDICIONES ACTUALES Y PROPUESTAS

Source Id	Demand				Amps % Imb	Volts Avg	Loss	
	kW	kvar	kVA	pf			kW	%
Feeders for CY052010								
CY053030 SANTA CRUZ	2497	182	2504	100	5.93	103.33	7	0.28

Source Id	Demand				Amps % Imb	Volts Avg	Loss	
	kW	kvar	kVA	pf			kW	%
Feeders for CY052010								
CY053030 SANTA CRUZ	2497	182	2504	100	5.93	103.33	7	0.27

TABLA 3. RESULTADOS DE LA SIMULACIONES ACTUALES Y PROPUESTAS

Para realizar el enlace entre circuitos es necesaria la re-calibración del tramo marcado de color amarillo en la figura de la condición propuesta, se tiene que recalibrar el conductor de 2 ACSR A 336 ACSR haciendo este tramo un multi-troncal con lo cual se pretende obtener mayor eficiencia y aumentar su confiabilidad y reducción de pérdidas en el circuito.

En los resultados de la simulación en las condiciones actuales y propuesta se observa mínimos cambios en la TABLA 3 de las simulaciones, sin embargo la confiabilidad y eficiencia del circuito se ve aumentada puesto que tiene tres rutas de enlace con otros circuitos en caso de falla evitando pérdidas en las ventas de energía.

La zona geográfica del circuito **CY053050** se analizó, encontrando calles urbanizadas, las cuales facilitan el libre acceso a los trabajadores de CFE. La aplicación del PCR en este circuito tiene la opción recalibrar tramos, retiro de instalaciones de MT y enlaces con otros circuitos en caso de fallas en la FIGURA 30 podemos ver los cambios que se realizaron.

### CONDICION ACTUAL

CY053050 TEOLOYUCAN (22)



### CONDICION CON PCR

CY053050 TEOLOYUCAN (22)

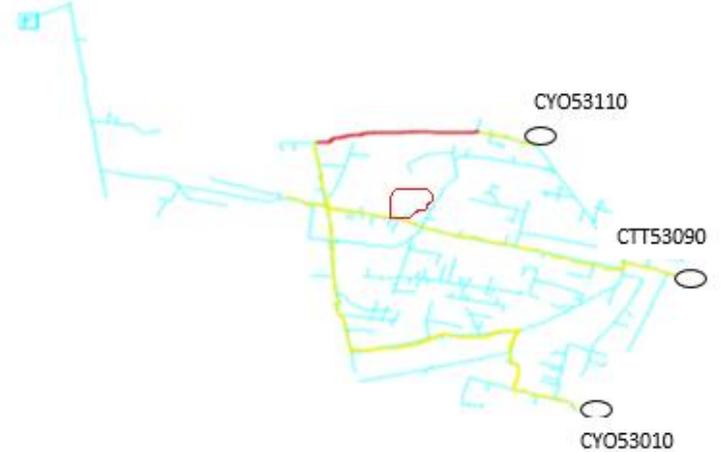


FIGURA 30. CONDICIONES ACTUALES Y PROPUESTAS

Source Id	Demand				Amps % Imb	Volts Avg	Loss	
	kW	kvar	kVA	pf			kW	%
Feeders for CY052020								
CY053050 TEOLOYUCAN (22)	5536	902	5609	99	1.79	103.33	60	1.08

Source Id	Demand				Amps % Imb	Volts Avg	Loss	
	kW	kvar	kVA	pf			kW	%
Feeders for CY052020								
CY053050 TEOLOYUCAN (22)	5680	929	5755	99	1.72	103.33	35	0.61

TABLA 4. RESULTADOS DE LA SIMULACIONES ACTUALES Y PROPUESTAS

Para realizar el enlace entre circuitos como antes mencionamos es necesario la recalibración del tramo marcado de color amarillo en la figura de la condición propuesta, es necesario la re-calibración del conductor de 2 ACSR A 336 ACSR haciendo este tramo un multi-troncal, el tramo color rojo se construirá buscando con ello poder realizar enlace el circuito vecino y el círculo rojo de la figura nos señala las instalaciones que se retiraran de MT con lo cual se pretende obtener mayor eficiencia y aumentar su confiabilidad y reducción de pérdidas en el circuito

En los resultados de la simulación en las tablas de las condiciones actuales y propuesta se puede observar que la demanda del circuito aumenta sin embargo no rebasa el rango establecido de 7.5 MVA con lo que debe contar un circuito, pero en cuanto a pérdidas se reduce en un 40% con esto también aumentamos la confiabilidad y eficiencia del circuito, puesto que tiene tres rutas de enlace con los circuitos vecinos en caso de falla

La zona geográfica del circuito **CYO53010** se analizó, encontrando calles limitadas o de acceso restringido, las cuales impiden el libre acceso a los trabajadores de CFE. En el área se encuentran canales de aguas negras que limitan la vialidad.

La trayectoria del circuito se muestra en la siguiente imagen obtenida del SYNERGI.



FIGURA 31. CONDICIONES ACTUALES

Los resultados de la simulación del circuito CYO53010 se muestran en la siguiente imagen, donde se denotan la demanda del circuito así como las pérdidas

Source Id	Demand				Amps % Imb	Volts Avg	Loss		
	kW	kvar	kVA	pf			kW	%	
Feeders for CYO52020									
CYO53010 TREBOL (21)	9803	3603	10444	94	2.44	103.33	143	1.46	

TABLA 5. RESULTADO DE LA SIMULACION

Con base a lo descrito anteriormente el área geográfica de la ubicación del circuito CYO53010 impide el reordenamiento de la red, lo que implica resultados contradictorios a lo deseado.

---

## 6. ABREVIATURAS

---

**CFE:** Comisión Federal de Electricidad

**CD:** Centro de Distribución

**M.T:** Media Tensión

**RGD:** Red General de Distribución

**PAMRG:** Programa de Ampliación y Modernización de las Redes Generales de Distribución

**PCR:** Programa de Crecimiento y Reordenamiento

**SEP:** Sistemas Eléctricos de Potencia

**CYO:** Coyotepec

**RT:** Relación de Tensión

**ACSR:** Alambre de Acero Galvanizado

**K Wh:** Kilowatt hora

**Kv:** Kilovoltio

**Km:** Kilometro

**MW:** MegaWatts

**MVA:** MegaVoltioAmperio

---

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

- [1] José Dolores Juárez Cervantes, (1995) Sistemas de distribución de energía eléctrica
- [2] Espinosa y Lara, Roberto, (1990) Sistemas de Distribución. Editorial Limusa, S.A de C.V
- [3] Comisión Federal de Electricidad, (2014) Construcción de Instalaciones Aéreas en Media y Baja Tensión
- [4] protección de Sistemas Eléctricos de Potencia CENACE CFE edición 1994
- [5] "Convergencia de Criterios de Diseños de Redes de Media Tensión". Cerj, Coelce S.A., Codensa E.S.P.S.A, Chilectra S.A., Edelnor S.A.A. y Edesur S.A. 11-Enero-2002
- [6] José García Trasancos, (2009) Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión. Editorial PARANINFO
- [7] Enríquez Harper, (2014) Los conceptos básicos de la generación transmisión, transformación y distribución de la energía eléctrica

---

## 8. CONCLUSIÓN

---

La implementación del PCR en esta zona es de gran utilidad ya que de acuerdo a las propuestas presentadas para la aplicación de este se obtiene que son rentables, sin embargo de acuerdo con los criterios establecidos por el PCR no todos los circuitos de la zona se les puede aplicar

- Con la reconfiguración de las RGD se obtiene una reducción de Pérdidas Técnicas 1.5 GWh anuales representa un 23 % de reducción en el área de estudio.
- Se aumentó la confiabilidad y eficiencia de la red, puesto que cuenta con nuevas rutas de enlace con los circuitos vecinos en caso de fallas
- Al realizar la acción de reordenamiento y regularización de servicios tenemos un incremento anual de 4.1 GWh en el área d estudio

Se debe establecer a nivel nacional como proyecto imperativo la elaboración y ejecución del Plan de Crecimiento y Reordenamiento de la Red General de Distribución ya que garantiza la rentabilidad de los proyectos encaminados a mejorar la confiabilidad y calidad del suministro de energía eléctrica, la reducción sustancial de pérdidas y costos de operación, la seguridad del personal y la preparación para el desarrollo de una red inteligente.

En lo personal en la realización de este proyecto me hizo conocer cómo se comportan y como se componen las redes de distribución tanto en MT y BT , cómo también su instalación y su electrificación, así como identificar donde nace un circuito y donde termina

