



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA, 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Electroenergética

Trabajo de Diploma

Título: "Estudio de desarrollo de las redes de distribución primaria a partir de la ubicación de una nueva subestación de 110/13 kV en Santa Clara".

Autor: Eddy López Sánchez

Tutor: Ing. Ramón Bernal Rodríguez

Santa Clara

2007

"Año 49 de la Revolución"

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA





UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA, 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Electroenergética

Trabajo de Diploma

Título: "Estudio de desarrollo de las redes de distribución primaria a partir de la ubicación de una nueva subestación de 110/13 kV en Santa Clara".

Autor: Eddy López Sánchez
E-mail: eddyls@ucfv.edu.cu

Tutor: Ing. Ramón Bernal Rodríguez
E-mail: rbernal@elecvcf.une.cu

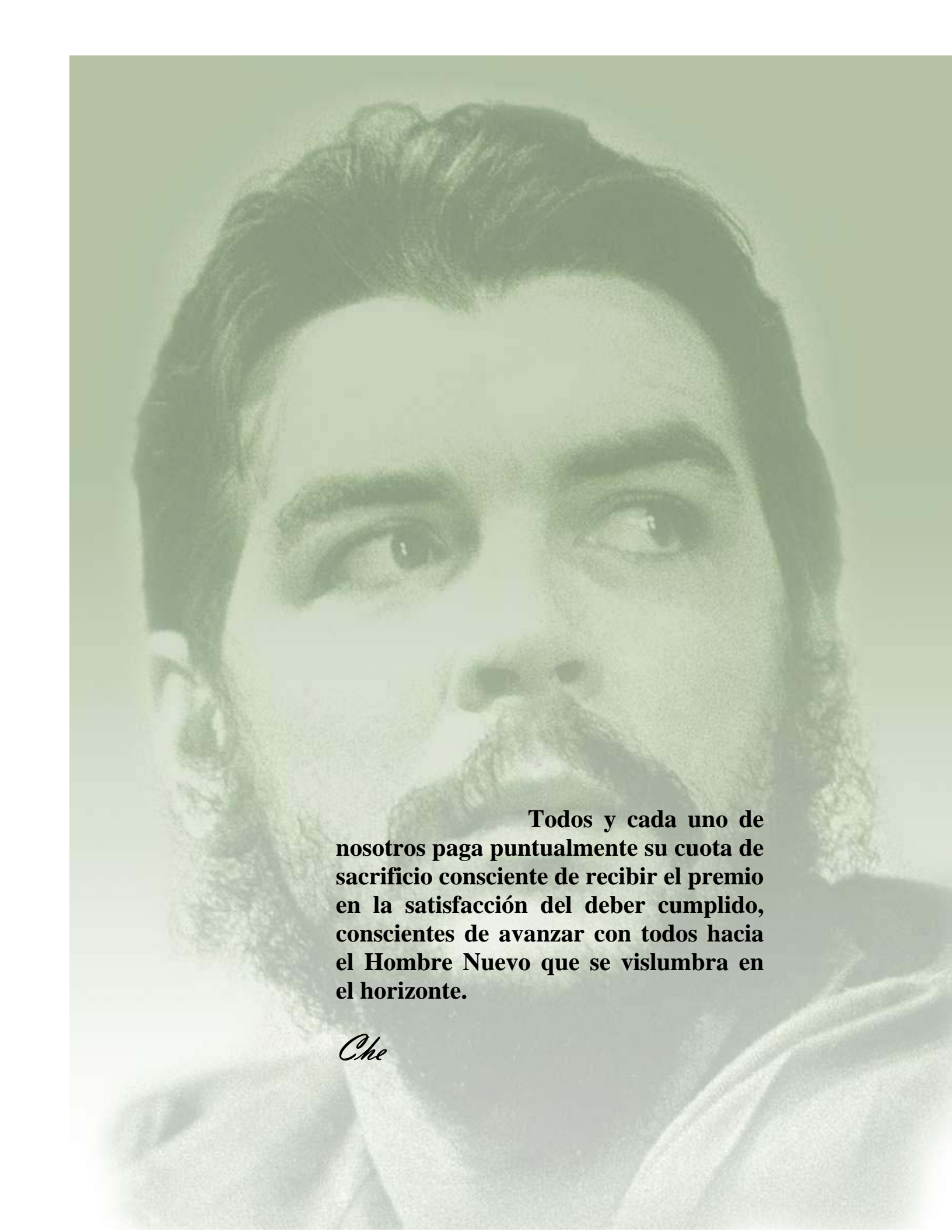
Santa Clara

2007

"Año 49 de la Revolución"

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA





Todos y cada uno de nosotros paga puntualmente su cuota de sacrificio consciente de recibir el premio en la satisfacción del deber cumplido, conscientes de avanzar con todos hacia el Hombre Nuevo que se vislumbra en el horizonte.

Che

DEDICATORIA

A mis padres que con su ejemplo han sabido guiarme siempre por el camino correcto.

A mis abuelos y tios que siempre se preocuparon por mí y me ayudaron cuando lo necesité.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, ya que sin su aliento y confianza, me hubiese sido imposible lograr este sueño.

A mis amigos y compañeros de aula por su ayuda en todo momento.

A mi tutor Ing. Ramón Bernal Rodríguez.

A todos los profesores que durante toda la carrera han puesto en mis manos los conocimientos que contribuirán a mi desempeño como profesional.

A todos, Muchas

Gracias!!!

RESUMEN

Las redes de distribución primaria de la ciudad de Santa Clara en estos momentos operan en condiciones que no son las más ventajosas tanto para los consumidores como para la Empresa Eléctrica y el país. Para mejorar el servicio se planteó el estudio de los circuitos de distribución para proponer soluciones.

Inicialmente fue necesario familiarizarse con los circuitos que alimentan la ciudad para poder conocer su ubicación, voltaje nominal cargas fundamentales y otras características que dan una valoración cualitativa de cada uno.

Se implementaron todos los circuitos de la ciudad en el programa de computación RADIAL para determinar las condiciones de operación de los mismos comprobándose que muchos de ellos presentan problemas de bajo voltaje en algunos nodos y pérdidas altas.

Se ubicaron todos los circuitos con sus cargas en un mapa de la ciudad para luego cuadrificarla y determinar los kVA de cada cuadro. Esto sirvió para tener en cuenta la carga de cada zona a la hora de realizar propuestas de ubicación de nuevas subestaciones.

Se realizó la corrida de un circuito en su forma original y concentrando la carga para comprobar que esta aproximación es correcta.

Con la propuesta de ubicación de las nuevas subestaciones y teniendo en cuenta las líneas ya existentes en la ciudad se propusieron los corredores de los nuevos circuitos, los que se implementaron en RADIAL concentrando las carga para determinar su operación.

Con esto se demostró que la propuesta realizada resuelve en gran medida los problemas de bajo voltaje y disminuye considerablemente las pérdidas.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
Pensamiento.....	I
Dedicatoria.....	II
Agradecimientos.....	III
Resumen.....	IV
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1. Descripción general de un sistema de distribución.....	5
Introducción.....	5
1.1 Características de los sistemas eléctricos de potencia (SEP).....	5
1.1.1 Redes y consumidores.....	7
1.2 Sistema de Distribución.....	8
1.2.1 Clasificación de los Sistemas de Distribución.....	9
1.2.1.1 Sistemas de Distribución Industrial.....	9
1.2.1.2 Sistemas de Distribución Comercial.....	9
1.2.1.3 Sistemas de Distribución Urbana.....	9
1.2.1.4 Sistemas de Distribución Rural.....	9
1.2.2 Características de operación.....	10
1.3 Clasificación de las redes.....	10
1.3.1 Circuitos Radiales.....	13
1.3.2 Circuitos Lazo.....	14
1.4 Subestaciones.....	14
1.4.1 Subestaciones de Distribución.....	15
1.4.1.1 Subestaciones con barra simple.....	16
1.4.1.2 Subestaciones con barra simple seccionalizadas.....	17
1.4.1.3 Subestaciones con barra simple seccionalizadas y barra auxiliar.....	18
1.4.1.4 Subestaciones con barra doble y barra auxiliar.....	18
1.5 Cargas.....	19
CAPÍTULO 2. Situación actual de las redes de distribución primaria de la ciudad de Santa Clara.....	20
Introducción.....	20
2.1 Caracterización de las redes de distribución primaria de Santa Clara.....	23
2.1.1 Caracterización de los circuitos más céntricos de Santa Clara.....	25
2.2 Comprobación de los resultados del circuito 1 original y con las cargas concentradas.....	34
CAPÍTULO 3. Propuestas para el mejoramiento de las redes distribución primaria de la ciudad de Santa Clara.....	36
Introducción.....	36
3.1 Estimación de las cargas de la ciudad por zonas.....	37
3.2 Propuestas de subestaciones para alimentar la ciudad de Santa Clara.....	38
3.3 Propuesta de los alimentadores de los nuevos circuitos de Santa Clara.....	39
3.4 Operación de las nuevas redes de distribución primaria propuestas para Santa Clara.....	40
Conclusiones.....	42
Bibliografía.....	43

Anexos.....	44
-------------	----

INTRODUCCIÓN

A raíz de las afectaciones ocurridas años atrás en el servicio eléctrico en Cuba y las limitaciones en cuanto a recursos energéticos que presentamos, el ahorro de energía eléctrica se ha convertido en una de las principales tareas del país, dirigido al desarrollo y consolidación de la eficiencia económica en todos los sectores y a todos los niveles. De aquí surge lo que hoy conocemos como la Revolución Energética a la que se dedican grandes esfuerzos con el objetivo de optimizar los recursos con que contamos.

En este empeño se han cambiado varios conceptos en cuanto al uso de la energía como el de sustituir el kerosén y el gas licuado como combustibles domésticos por electricidad, lo que provocó un considerable aumento de la carga en el horario pico.

Para satisfacer esta demanda y como parte de los trabajos de rehabilitación de redes de Santa Clara se desea realizar un estudio para dar solución a los problemas existentes.

La red de distribución en cualquier sistema eléctrico debe ser diseñada a partir de las características de su razón de ser, el consumidor. Para esto se requiere de parámetros tales como los niveles de demanda, el factor de carga, las características de los consumidores y el nivel permisible de afectación al servicio, con lo cual se definirá el tamaño y ubicación de las subestaciones que le servirán de alimentación.

En la actualidad el factor fundamental que rige cualquier diseño de un sistema de distribución lo constituye la confiabilidad que se traduce en la acción de minimizar las afectaciones del servicio al consumidor, es por esto que la elaboración de un sistema de distribución conlleva las siguientes premisas:

- Valores permisibles de afectación al consumidor (en número y duración) debido al fallo de los diferentes componentes del sistema.
- Variaciones permisibles de la tensión de servicio en el punto de entrega al consumidor tanto en condiciones normales como de emergencia.

Lo anteriormente expuesto ha traído consigo el aumento considerable de los costos de distribución respecto a los costos totales del sistema eléctrico general, lo cual es demostrado por estudios realizados que han arrojado como resultado que los costos de inversiones en el sistema de distribución han aumentado de un 15,8 % a un 35,1 % respecto a los costos totales de inversión en el sector eléctrico en sólo 10 años, incluso a la hora de determinar el tamaño de un conductor y la carga máxima de un circuito lo más importante es tener en cuenta la cantidad de consumidores que puede quedar sin servicio al ocurrir una falla y no las pérdidas de energía o la caída de voltajes, criterios estos que hasta hace muy poco tiempo constituían el factor fundamental.

Otro aspecto a considerar en los diseños de redes de distribución primaria es la preparación de dicho sistema para el crecimiento vegetativo de las cargas que se produce de un año a otro lo cual exige el aumento de su capacidad. Para lograr lo anterior se cuenta con un grupo de estrategias tales como:

- Instalación de alimentadores adicionales en combinación con la configuración de la red de distribución existente.

- Completamiento de conductores de fase en los primarios laterales con una o dos fases.
- Incremento del nivel de voltaje manteniendo los conductores existentes.
- Diseñar la red de distribución aérea con la mayor cantidad posible de elementos correspondientes al nivel de voltaje superior, de forma que su conversión futura requiera solamente de la sustitución del aislamiento, los elementos de seccionalización, protección y los transformadores.

Cualquiera de estas medidas, principalmente la última, pudiera constituir una solución viable, lo que sí se debe evitar a toda costa es la sustitución de los conductores existentes por uno de mayor capacidad pues resulta un proceso muy costoso y difícil.

Un aspecto muy común en el sistema de distribución lo constituye la conversión a un voltaje superior, lo cual constituye muchas veces una necesidad de cualquier red, ya sea porque el estado de su carga así lo requiera, porque se pronostique un desarrollo vertiginoso de una ciudad o área determinada, o simplemente porque se quiera lograr la disminución de pérdidas que este proceso trae consigo. Estos programas requieren de una especial planificación de forma que su ritmo de conversión debe ser lo suficientemente rápido como para evitar la necesidad de compra de equipos al nivel de voltaje que va a ser reemplazado y al mismo tiempo lo suficientemente lento como para permitir la reutilización de los equipos que se retiran a medida que avanza el programa de conversión.

Como resumen de esta breve panorámica con que se ha reflejado la política que rige en la actualidad los diseños de sistemas de distribución primaria se puede decir que los conceptos de evaluación de daños, de los costos de confiabilidad y otros similares han quedado sustituidos por los índices de calidad del servicio desde el punto de vista del consumidor, entendiéndose por ello las garantías, y no las restricciones, que se brindará a los clientes en cuanto al servicio eléctrico, los demás criterios quedan subordinados a dicho principio y esto sin lugar a dudas ha constituido una verdadera revolución en el campo de la planificación de los sistemas de distribución.

El trabajo que a continuación se presenta tendrá como premisa lo anteriormente expuesto y consiste en el estudio minucioso de las redes de distribución primaria de la ciudad de Santa Clara y analizando la factibilidad de su operación total a 13.8 kV realizando la conversión de los que aún lo hacen a 4.16 kV. Este objetivo constituye en la actualidad una prioridad de la Unión Nacional Eléctrica (UNE) debido al enorme ahorro de energía que se producirá por el aumento del voltaje de operación (Casas Fernández, Leonardo.1973), se solucionaría el problema de que los dispositivos que constituyen los sistemas de distribución a 4.16 kV están desapareciendo del mercado y además se podrá instalar nuevas cargas que están previstas.

Por lo anteriormente planteado se propone la realización de este trabajo que persigue los siguientes objetivos:

- Determinar la distribución geográfica actual y perspectiva de las cargas en la ciudad.
- Proponer, considerando la infraestructura actual de subestaciones y redes, el suministro adecuado de energía.
- Determinar ante distintos estados de carga la configuración óptima de las redes con las subestaciones actuales y las propuestas.
- Validar que los distintos esquemas de suministro cumplan los parámetros normados.

CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Introducción

La energía eléctrica brinda la posibilidad de poderse transportar de un lugar a otro con relativa facilidad por lo que es ampliamente usada y prácticamente imprescindible para el hombre. Para la distribución de la energía se usan los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) los que pueden tener distintos modos de operación según las necesidades.

En este capítulo se realiza una descripción de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) así como de sus partes fundamentales, sus modos de operación y sus características principales.

1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP)

En Cuba el SEP está formado por varias plantas generadoras que entregan energía a una red que cubre todo el país a la que se conectan las redes que distribuyen la energía a los consumidores.

Los SEP están formados por los siguientes elementos:

- Generación
- Transmisión
- Subtransmisión
- Distribución Primaria
- Distribución Secundaria

El número de PLANTAS GENERADORAS es muy pequeño comparado con el número de consumidores o clientes asociados a un SEP. Para la generación de la energía eléctrica se usan diferentes tipos de combustibles.

Las LÍNEAS de TRANSMISIÓN son las de mayor voltaje en el SEP, las de mayor longitud y las que manipulan los mayores bloques de potencia. Enlazan entre sí las diferentes regiones del país. Su función es INTERCAMBIAR energía entre las regiones que unen, por lo que la transferencia de potencia puede ser en ambos sentidos.

Las LÍNEAS de SUBTRANSMISIÓN sirven la energía eléctrica a una región dada (una ciudad, municipio, etc.). Sus voltajes, longitudes y la potencia que manipulan son menores que en el caso anterior. Su alimentación es por un solo extremo.

Las LÍNEAS de DISTRIBUCIÓN PRIMARIA sirven la energía eléctrica a un área geográfica más reducida (parte de una ciudad, de un municipio, etc.). Sus voltajes, longitudes y la potencia que manipulan son menores que en el caso anterior. Su alimentación es por un solo extremo.

Las LÍNEAS de DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA sirven la energía eléctrica a una región aún más pequeña (parte de una calle, de un pequeño poblado, etc.). Sus voltajes, longitudes y la potencia que manipulan son menores que en el caso anterior. Su alimentación es por un solo extremo.

Un esquema simplificado de un SEP es el que se muestra en la Figura 1.1

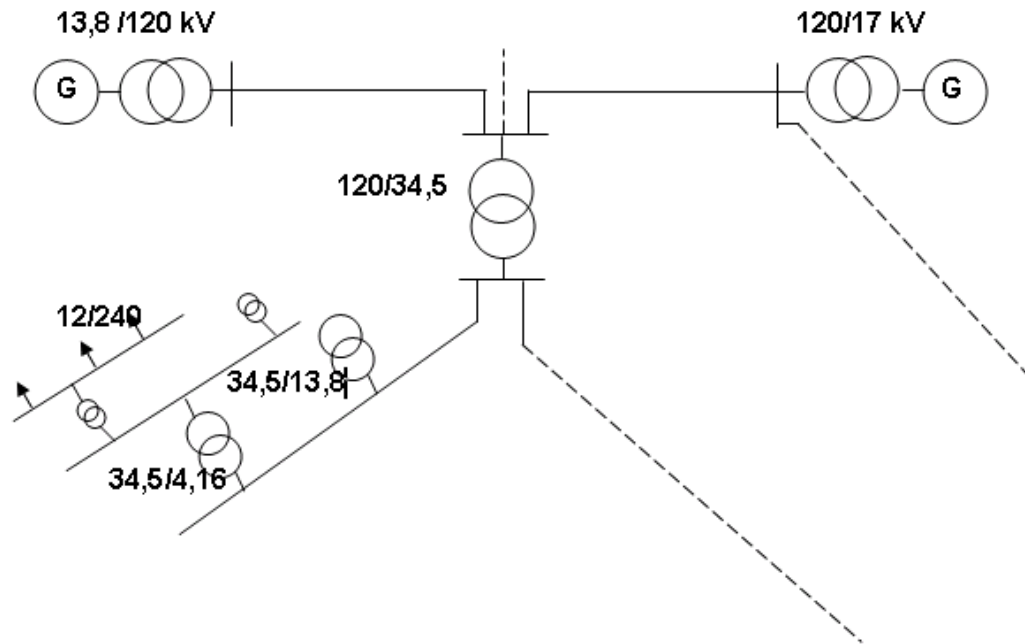


Figura 1.1 Esquema simplificado de un SEP

1.1.1 Redes y consumidores

Se debe destacar que los consumidores se unen al SEP en función de la potencia que demandan y ésta está estrechamente asociada al voltaje, por lo que existirán cargas en todos los niveles de voltaje. Aunque no existe un límite definido para la clasificación de los consumidores y sus potencias asociadas, se puede emplear la siguiente división:

CONSUMIDORES MUY GRANDES

Demanda de 10 MW o más. Muy frecuentemente se asocian a los mayores voltajes del SEP. Refinerías, acerías, fábricas de cemento, etc.

CONSUMIDORES GRANDES

Demanda del orden de 1 a 10 MW. Generalmente se alimentan de las redes de subtransmisión. Fábricas alimenticias, minas, etc.

CONSUMIDORES MEDIANOS

Demanda del orden de 100 kW hasta 1000 kW. El servicio se hace a través de las redes de distribución primaria. Fábricas pequeñas, centros comerciales, instalaciones hospitalarias, etc.

CONSUMIDORES PEQUEÑOS

Demanda desde varios cientos de W hasta algunas decenas de kW. Estos clientes se conectan a la red de distribución secundaria. Residencias, pequeños comercios y talleres, etc.

Como resumen es muy útil la Tabla 1.1. Debe aclararse que los valores mostrados son típicos. Para todos hay excepciones.

Tabla 1.1 Algunos datos de los niveles de un SEP

LÍNEA	FUNCIÓN	VOLT. (kV)	POTENC.	km	CONSUM.
Transm	Intercamb.	110 - 500	50-500 MW	50-500	MUY GRANDES
Subtransm	Electrific.de una región	33 - 110	5- 50 MW	10-50	GRANDES
Dist.Prim	Electrific. Menor	4,16 - 23	1-10MW	2-15	MEDIOS
Dist.Secun	Electrific. Pequeña	120/240 V	- 50 kW	0,2-1,0	PEQUEÑOS

1.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Un sistema de distribución de energía eléctrica es un conjunto de equipos que permiten energizar en forma segura y confiable un número determinado de cargas, en distintos niveles de tensión, ubicados generalmente en diferentes lugares.

1.2.1 Clasificación de los Sistemas de Distribución

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en:

- Industrial.
- Comercial.
- Urbano.
- Rural.

1.2.1.1 Sistemas de Distribución Industrial

Comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, químicas, petróleo, papel, etc. 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 diesel.

1.2.1.2 Sistemas de Distribución Comercial

Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, etc. 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.

1.2.1.3 Sistemas de Distribución Urbano

Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos. Son sistemas que por lo general tienen varias ramificaciones y es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.

1.2.1.4 Sistemas de Distribución Rural

Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, con clientes dispersos.

1.2.2 Características de operación

Para comprobar las características de operación, confiabilidad y seguridad de un sistema de distribución industrial, es necesario efectuar una serie de estudios analíticos; los cuales entregan índices de funcionamiento, cuya exactitud dependerá del modelo empleado en la representación del sistema. Los estudios típicos que se efectúan en un SDI son los siguientes:

- Flujos de potencia.
- Cálculo de corrientes de cortocircuito.
- Regulación de tensión y compensación de reactivos.
- Partida de motores.

1.3 CLASIFICACION DE LAS REDES

En la Figura 1.2 se muestra un esquema de un circuito de distribución en la que se pueden apreciar claramente de una manera sintetizada las partes de una red de distribución. La subestación primaria es alimentada de un circuito de subtransmisión de 34.5 kV. Por el secundario del transformador se conecta el circuito de distribución primaria de 13.8 kV, a estos se conectan los transformadores de distribución que reducen el voltaje al valor que va ha ser usado por el receptor.

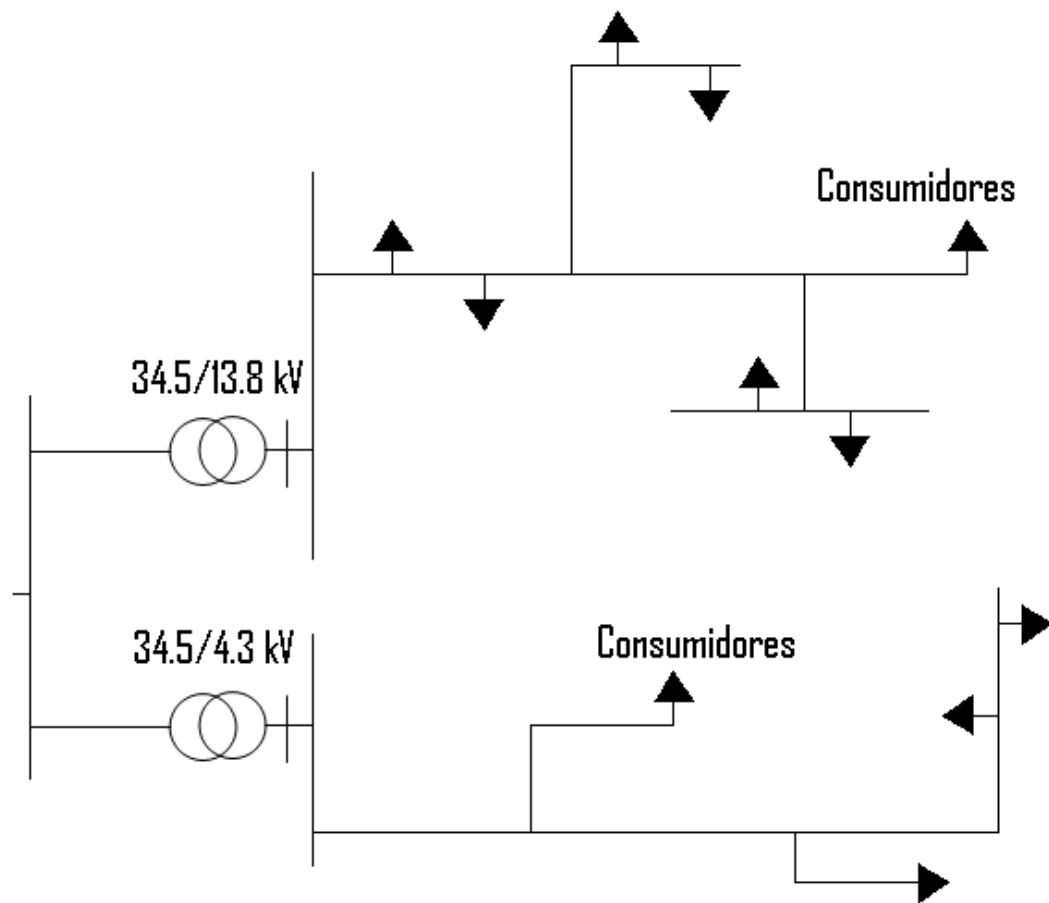


Figura 1.2 Esquema representativo de un circuito de distribución primaria

En la Figura 1.3 se muestra un esquema de una red de distribución primaria con varias salidas, circuitos secundarios radiales y en lazo, así como puntos donde se pueden interconectar distintos circuitos por medio de interruptores para mejorar la continuidad del servicio en caso de fallos o averías lo que se traduce en calidad.

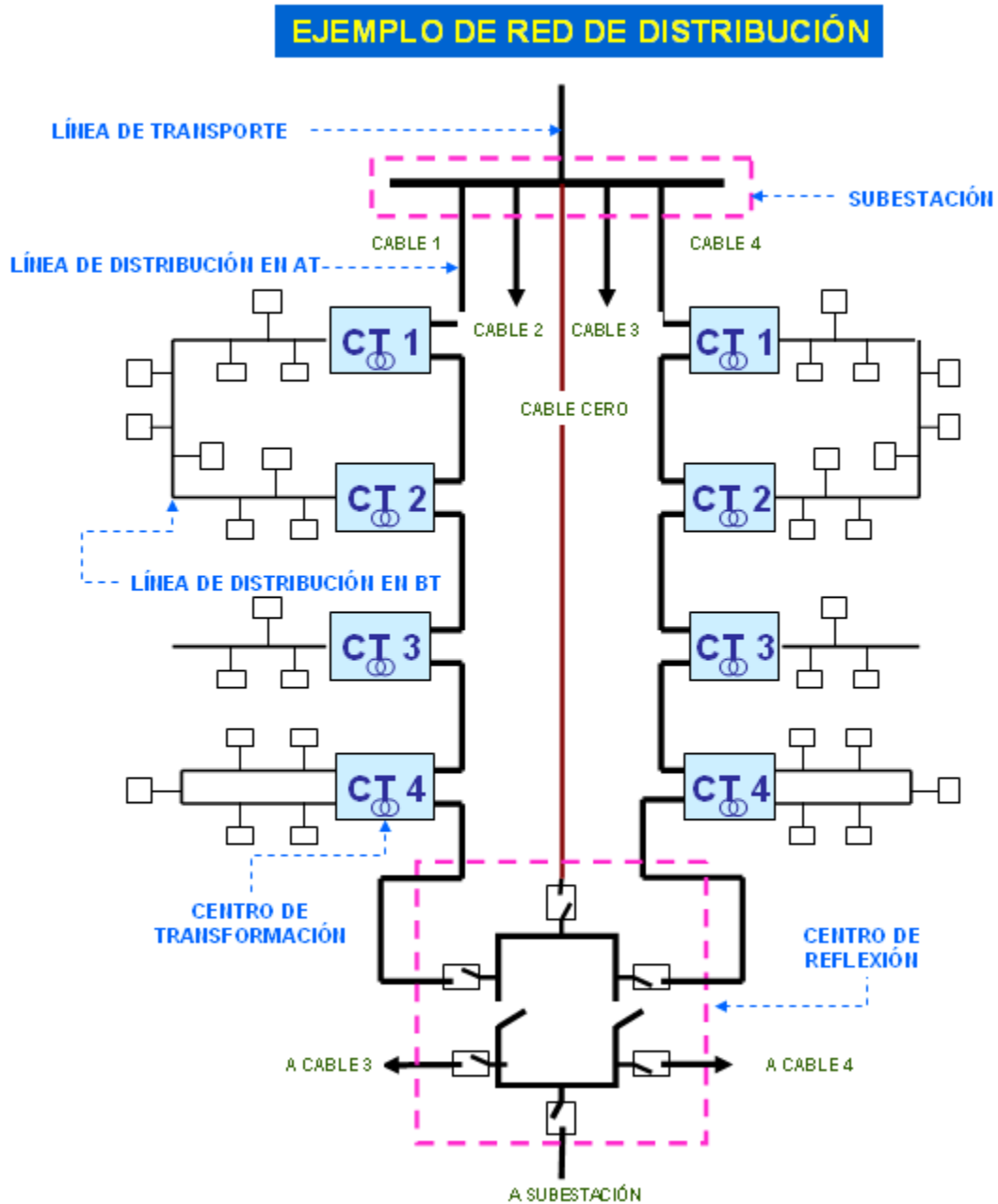


Figura 1.3 Esquema de una red de distribución primaria

Existen principalmente dos esquemas de alimentación: los sistemas radiales y los lazo. Los sistemas radiales (Figura 1.4) son los de uso principal.

1.3.1 Circuitos Radiales

Poseen un conjunto de alimentadores de alta tensión, que suministran potencia en forma individual a un grupo de transformadores. Cuando una red radial alimenta a transformadores, se obtienen las redes de distribución de baja tensión, normalmente trifásicas de cuatro hilos, y siempre del tipo sólidamente aterrizadas. Una desventaja de los sistemas radiales es que al fallar un transformador, su alimentador en alta tensión, todos los clientes de baja tensión asociados a ese transformador quedan sin suministro. No son redes que aseguren una buena continuidad del servicio, pero son económicas.

Las características más importantes de los circuitos radiales son:

- Su alimentación es por un sólo extremo. Parten de una subestación y alimentan las cargas a lo largo de su recorrido, el que es a lo largo de calles, carreteras y caminos.
- Son muy sencillos y son los más económicos desde el punto de vista constructivo.
- Su regulación de voltaje es muy grande (diferencia entre el valor máximo y mínimo).
- Su fiabilidad es baja, ya que una falla puede afectar a un gran número de clientes.

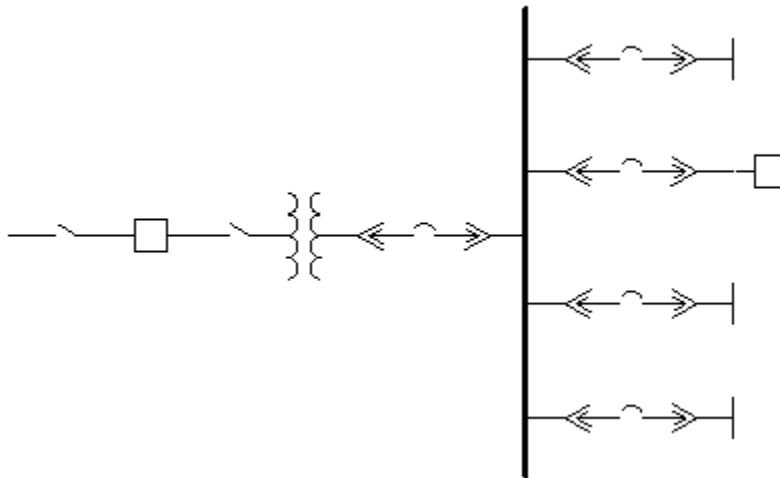


Figura 1.4 Esquema de una red radial

1.3.2 Circuitos Lazo

Los sistemas lazo en alta tensión (Figura 1.5), se caracterizan por tener el lado primario del transformador conectado a una barra donde le llegan dos puntos de alimentación, proporcionando así una continuidad del servicio en caso de que ocurra una falla en alguno de los extremos de alimentación. La gran ventaja que presenta esta topología es la continuidad del servicio, superior a la

de los circuitos radiales, no obstante cabe mencionar que el sistema se hace más complejo en las operaciones.

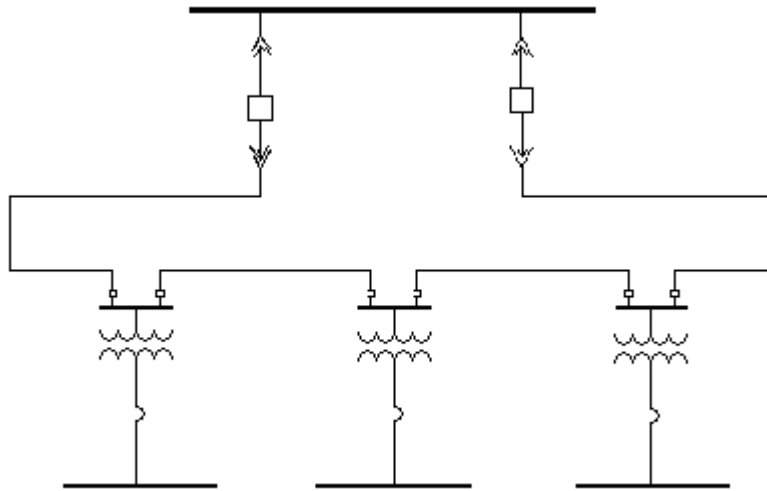


Figura 1.5 Esquema de una red lazo

1.4 SUBESTACIONES

Las subestaciones son la fuente de suministro de energía para la distribución a nivel local. La función principal de la subestación es reducir la tensión del nivel de transmisión o de subtransmisión al nivel de distribución.

Para alcanzar este objetivo, las subestaciones emplean varios dispositivos de seguridad, de conmutación, de regulación de tensión, y de medida. Las subestaciones se ubican generalmente en o cerca del centro del área de distribución, ya sea al interior o al exterior (expuesto) y operados manual o automáticamente.

1.4.1 Subestaciones de Distribución

Se le llama subestación de distribución a una subestación que se ubica centralmente dentro del área de carga. Las subestaciones de distribución pueden estar próxima a áreas densamente pobladas. La Figura 1.6 muestra una distribución típica de una subestación de distribución que suministra energía a un fabricante de papel en el norte de Maine.

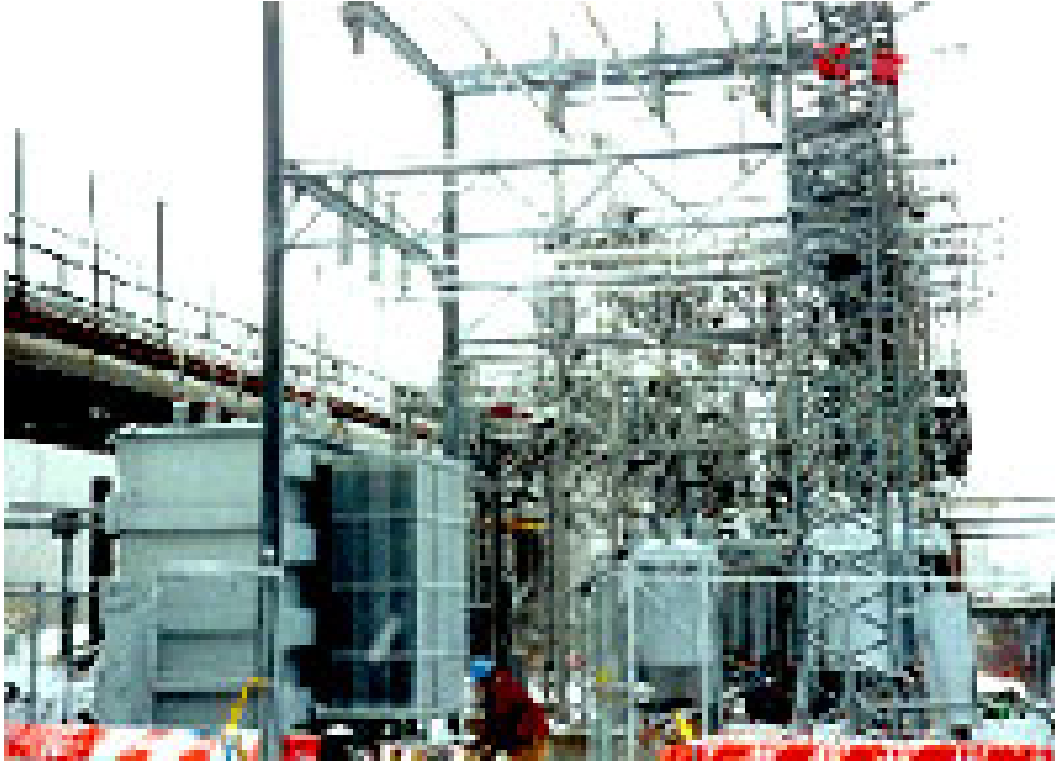


Figura 1.6. Subestación de Distribución

Las subestaciones de distribución contienen muchos componentes, dentro de los que se incluyen transformadores de potencia, interruptores y reguladores de tensión. Los transformadores de potencia son el corazón de la subestación de distribución, las cuales ejecutan la tarea principal de reducir las tensiones de sub-transmisión a los niveles de distribución (4,16 o 13,2 kV).

Los interruptores se colocan entre los circuitos de distribución y la barra de baja tensión para la protección de la subestación durante las condiciones de falla o de picos de tensión.

1.4.1.1 Subestaciones con barra simple

Son puntos de unión o enlace muy sencillos. Se usan donde hay una sola entrada. Tienen como principal desventaja el hecho de que al dar mantenimiento a cualquier elemento hay que desenergizar todo el conjunto. En la Figura 1.7 se muestra un ejemplo de una subestación con barra simple.

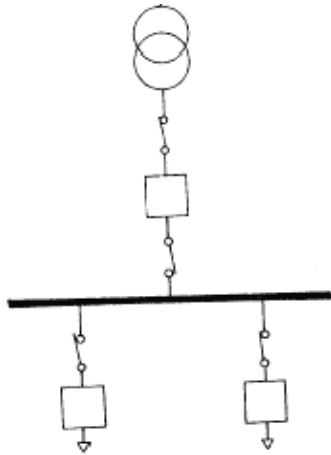


Figura 1.7 Subestación con barra simple

Para resolver esta situación se colocan las cuchillas de desvío o “by – pass” , tal como se muestra en la Figura 1.8.

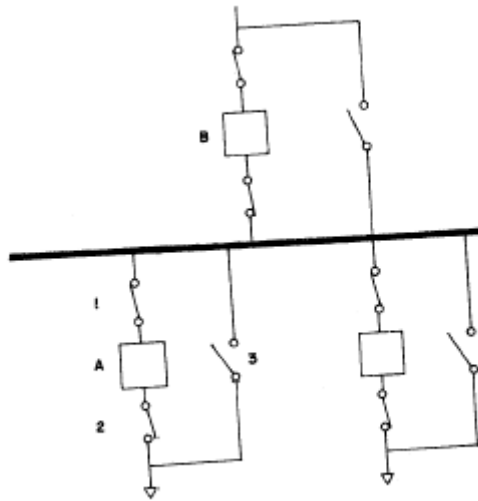


Figura 1.8 Subestación con barra simple con “by-pass”

1.4.1.2 Subestaciones con barras simples seccionalizadas

Cuando ocurre una falla en una barra simple se pierde todo el servicio, para evitar esto se usan las barras seccionalizadas, donde al menos se mantiene la mitad del servicio. Se usan donde hay doble alimentación. En la Figura 1.9 se muestra un esquema de este tipo de barra.

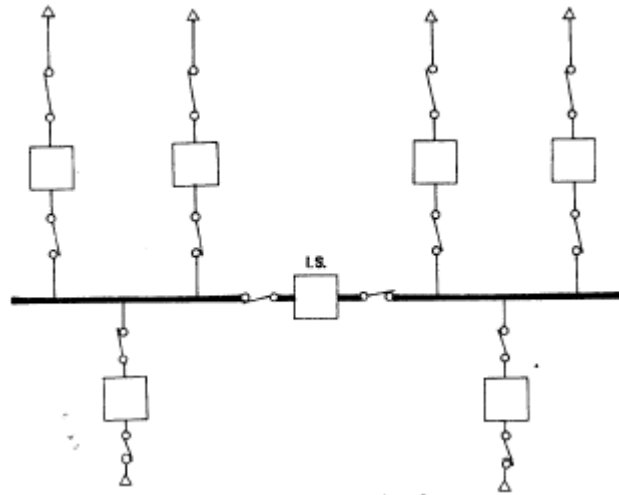


Figura 1.9 Subestaciones con barras simples seccionalizadas

1.4.1.3 Subestaciones con barras simples seccionalizadas y barra auxiliar

La barra auxiliar es un medio de proveer un interruptor de repuesto para los casos en que es necesario sacar de servicio un interruptor y no dejar el circuito solo con el by – pass. En la Figura 1.10 se puede ver un ejemplo.

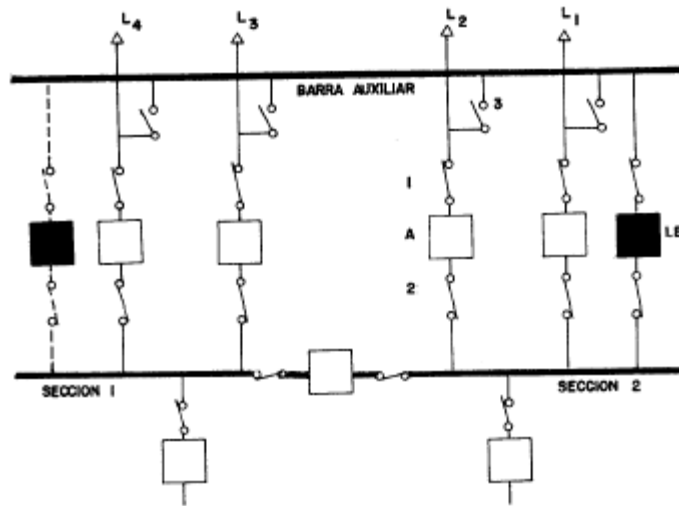


Figura 1.10 Subestaciones con barras simples seccionalizadas y barra auxiliar

1.4.1.4 Subestaciones con barra doble y barra auxiliar

Estas barras duplican la barra principal para poder sustituirla en caso de una falla (Figura 1.11), dada la importancia de las mismas. Se usan en aquellos lugares de gran importancia (plantas grandes).

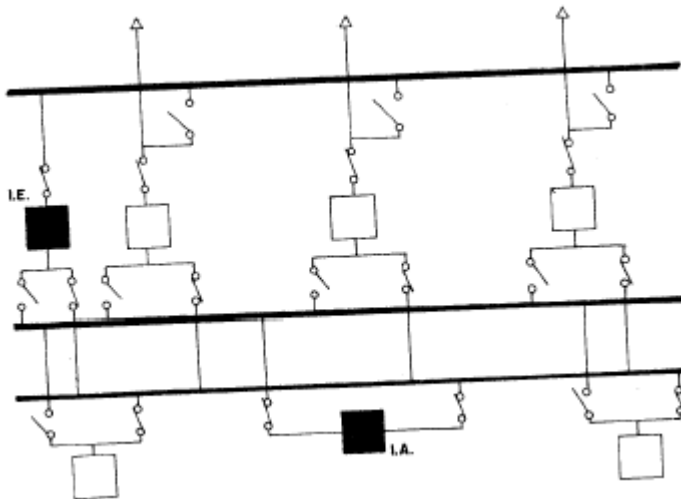


Figura 1.11 Subestaciones con barra doble y barra auxiliar

1.5 CARGAS

Las cargas tienen la característica que varían a lo largo del día de acuerdo con las necesidades de los usuarios, destacándose picos de demanda en las horas más críticas. De acuerdo con la presencia de diferentes tipos de cargas la forma de la curva horaria presenta distintos comportamientos tales como los que se muestran en la Figura 1.12.

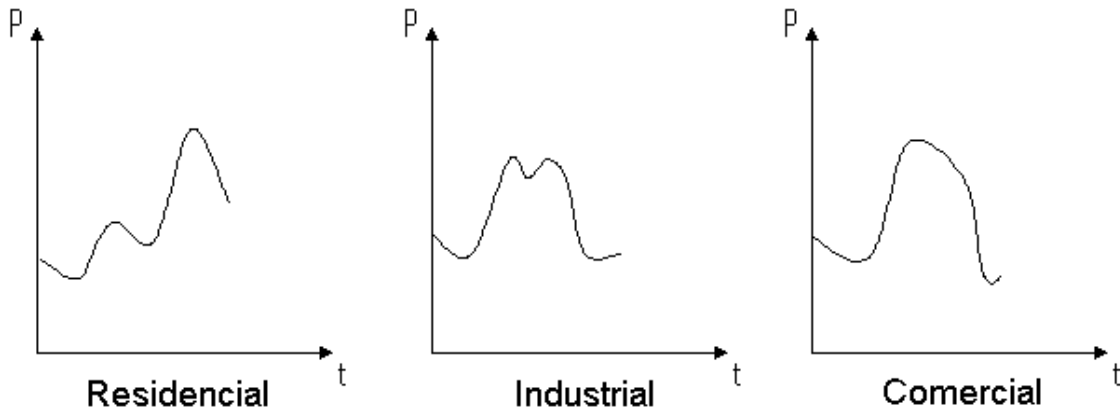


Figura 1.12 Tipos de cargas

CAPÍTULO 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA

Introducción

Se realiza una valoración de la operación de las redes de distribución primaria de la ciudad de Santa Clara teniendo en cuenta los problemas existentes, con el fin de proponer soluciones que contribuyan a brindar un servicio con óptima calidad y eficiencia.

Para el análisis que se desea realizar es necesario conocer los circuitos de distribución primaria de Santa Clara por lo que la primera tarea propuesta fue familiarizarse con las redes de la ciudad, para ello se usaron los monolineales que posee la Empresa Eléctrica de Villa Clara los que se pueden ver en el anexo 1.

Para tener la ubicación de los circuitos en la ciudad con sus cargas en un mismo mapa se usó el programa de computación **MAPINFO** que fue muy útil pues después de ubicar los circuitos de la ciudad se pudo obtener datos importantes.

Después de tener los circuitos ubicados en el mapa se enumeraron las cargas según el circuito al que pertenecieran, por ejemplo al nodo 39 del circuito 15 le corresponde la nomenclatura 15/39 (circuito/nodo), así se hace corresponder lo que se realizó en el **MAPINFO** con lo que se hiciera después en el programa de computación **RADIAL**. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo de cómo se identificaron las cargas.

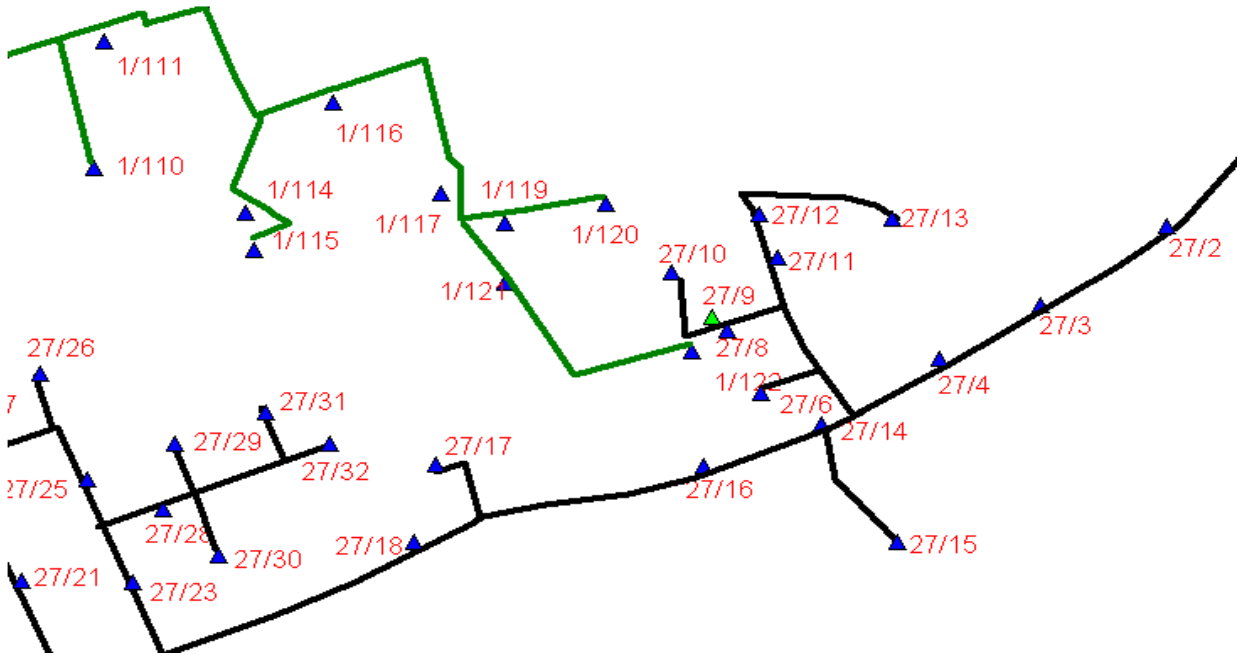


Figura 2.1 Identificación de las cargas en el programa MAPINFO

Se cuadrículó la ciudad en áreas de 500x500 m y se sumaron los kVA de las cargas dentro de cada cuadrícula para determinar la densidad de carga de la ciudad. En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo donde se aprecia que la carga de la cuadrícula 6 es de 490 kVA y la de la 7 de 705 kVA, esto resultó, en la cuadrícula 7, por ejemplo, de la suma de los kVA de las cargas de los circuitos 27 y 1 que se encuentran dentro de ese cuadro.

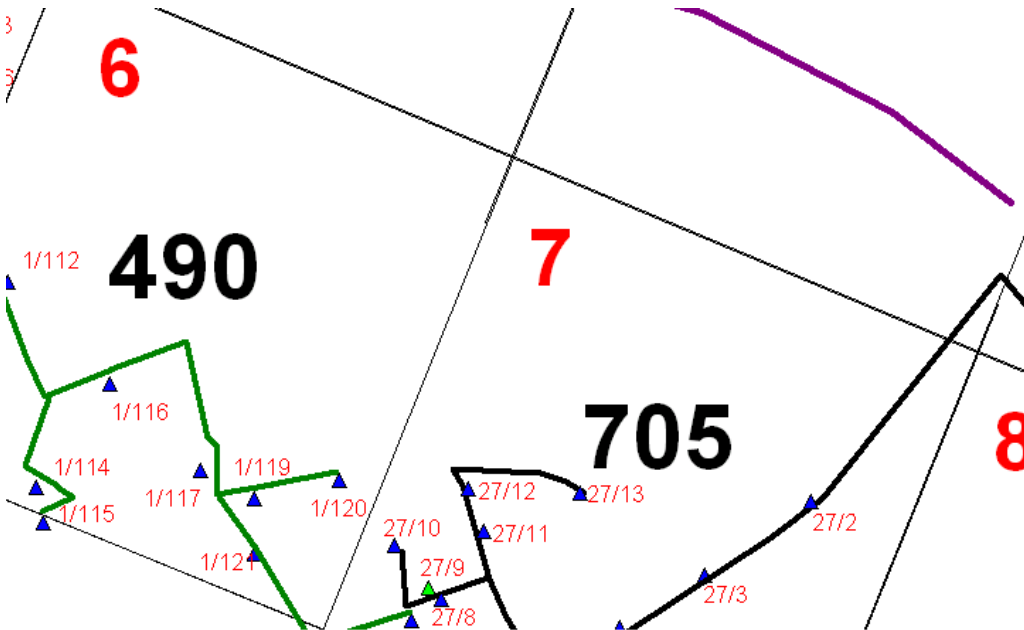


Figura 2.2 Ejemplo del cálculo de la densidad de carga por zona

Utilizando el **RADIAL** se realizaron corridas de los circuitos para determinar el estado actual de los mismos.

Se montó en el **RADIAL** el circuito 1 pero con una característica particular. En este caso se concentraron las cargas teniendo en cuenta la cuadrícula por donde pasaba el circuito y la suma de los kVA de la misma para así poder comprobar que los resultados que se obtienen en las corridas concentrando las cargas y con los circuitos originales son bastante similares por lo que es válido realizar esta aproximación con los nuevos circuitos que se implementarán. En la Figura 2.3 se muestra un ejemplo del método utilizado. A la izquierda se observa un circuito cualquiera que pasa por los cuadros enumerados y a la derecha se puede ver como quedaría ese circuito con la carga concentrada, donde, el número que tiene el nodo corresponde con la cuadrícula por donde pasa y por tanto le corresponde la carga que tiene ese circuito en el cuadro.

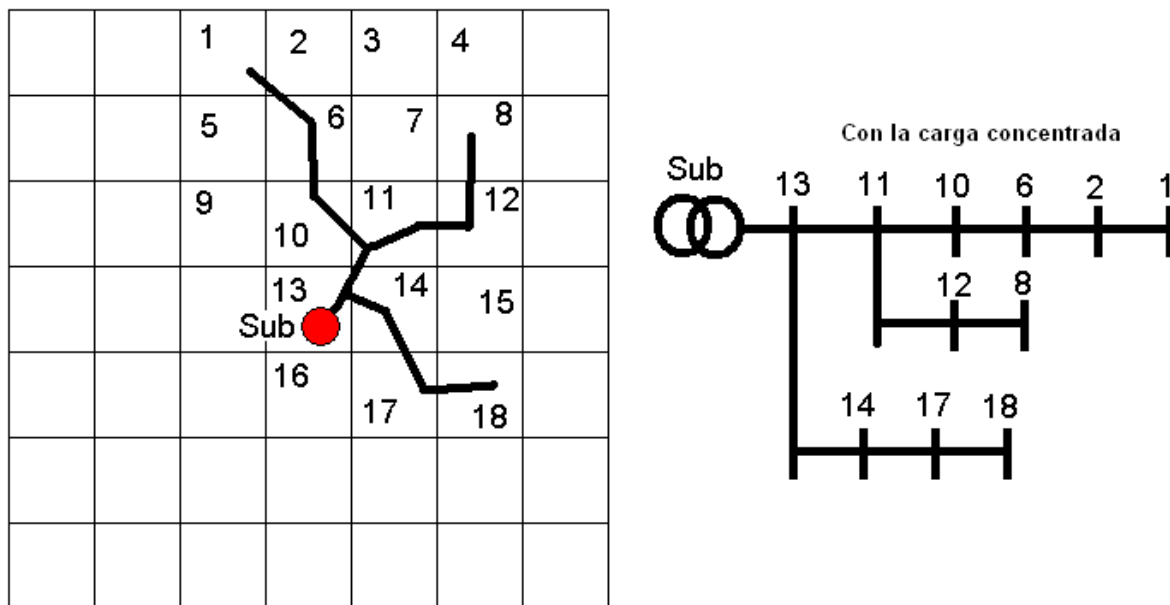


Figura 2.3 Ejemplo del método utilizado para concentrar las cargas

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA DE SANTA CLARA

La ciudad de Santa Clara se alimenta de dos subestaciones de 110/34.5 kV que se encuentran, una en lo que se conoce como la subplanta, donde está ubicado también el despacho eléctrico y la otra en lo que se conoce como Santa Clara industrial. A ella se

conectan 28 subestaciones que reducen el voltaje a 4.16 ó 13.4 kV para distribuirlo por toda la ciudad a través de 46 circuitos de distribución primaria los que alimentan los transformadores que entregan la energía eléctrica a los consumidores a un voltaje seguro para el uso por la población.

En la Tabla 2.1 se muestran algunas de las subestaciones de la ciudad y los circuitos de cada una de ellas así como su voltaje nominal.

Tabla 2.1 Subestaciones de la ciudad de Santa Clara

Subestaciones	Circuitos	V (kV)	Subestaciones	Circuitos	V (kV)	Subestaciones	Circuitos	V (kV)
Ciudad	1--2--3--4	4.3	Ochoita	18	4.3	Antón Díaz	8	4.3
Maleza	14--15--27	13.8	Vigía	6	4.3	Cupet	5--17	13.8
Textilera	22	4.3	Cubanacán	16	4.3	Moldes y Troqueles	9	4.3
Universidad	7--44	4.3	La Ceniza	23--43	13.8	Zona Industrial	13	13.8
Bioteología	35	13.8	Fábrica de Hielo	11	4.3	Manuelita	26	13.8
Los Guiros	25	13.8	RF	32--33	13.8	Yabú	37--38	13.8
Planta Asfalto	24	13.8	La Marina	46	4.3	Rebacadero	21	13.8
Sandino	12--39	4.3	Roble	19--20	13.8	Gran Panel	10--29--41	4.3
Zona Hospitalaria	36	4.3	Monumento al Che	28	13.8	Escambray	30--31--45	13.8

En la Figura 2.4 se observa la ubicación de las subestaciones de Santa Clara donde las que se señalan en color azul son de 4.3 kV y en verde las de 13.8 kV.

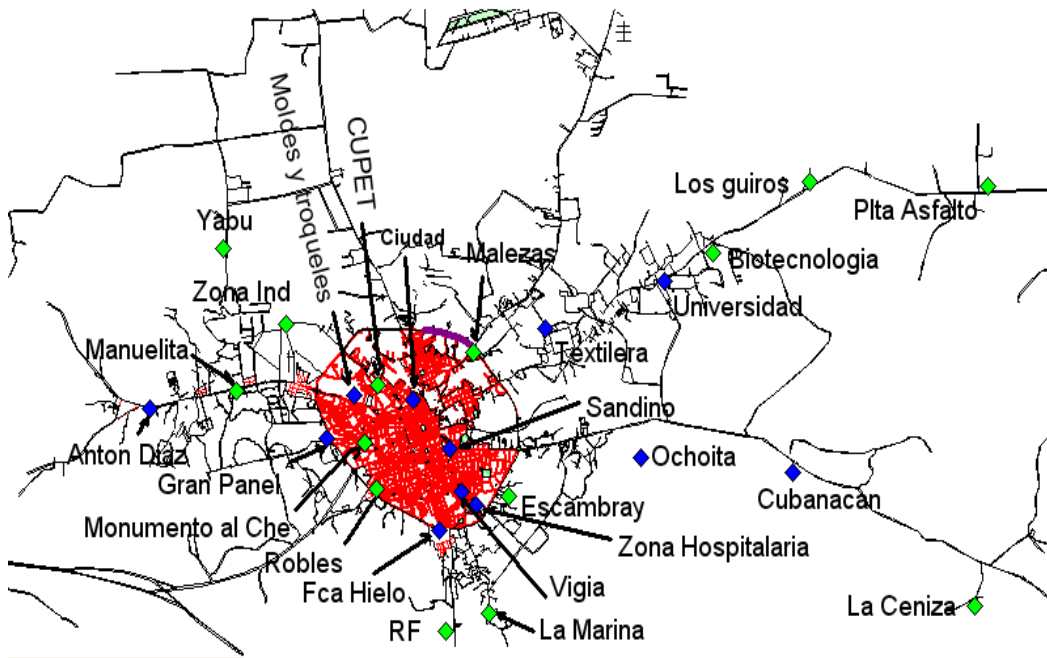


Figura 2.4 Ubicación de las subestaciones de Santa Clara

2.1.1 Caracterización de los circuitos más céntricos de Santa Clara

En la Figura 2.5 se observa el área que cubre cada uno de los circuitos de Santa Clara.

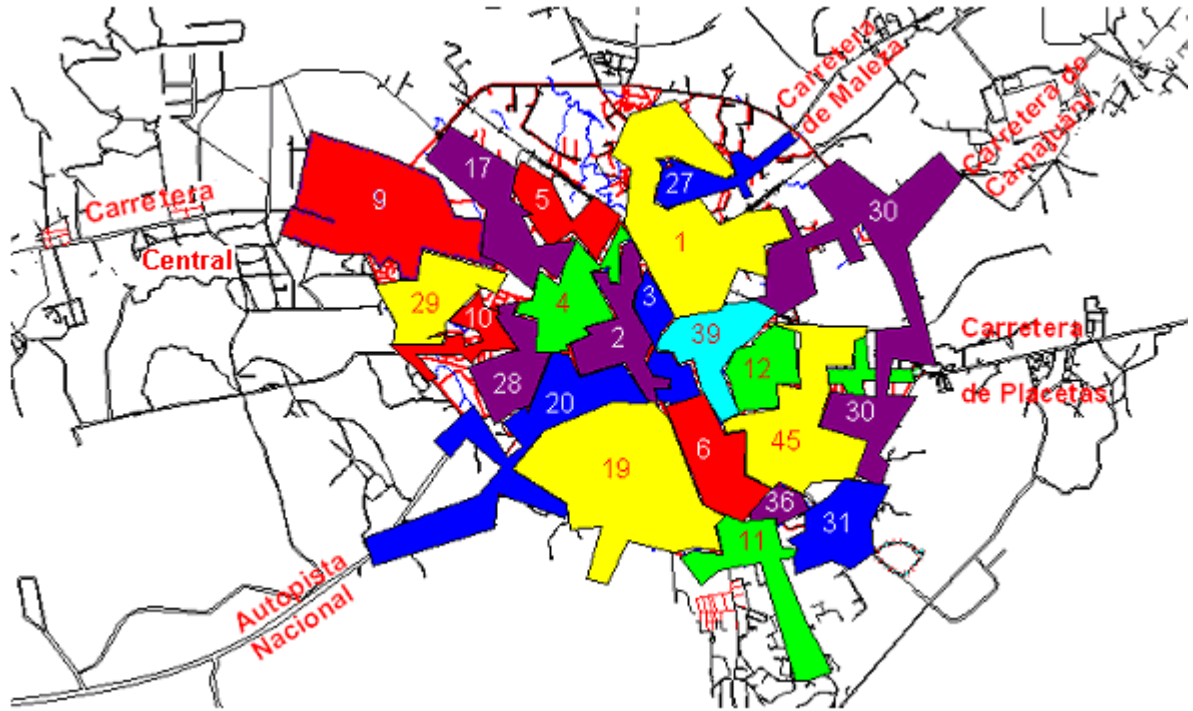


Figura 2.5 Ubicación de los circuitos de Santa Clara

Circuito 1

Sale de la subestación ubicada en la OBE provincial, la que posee para el circuito 1 y el 3 un transformador de 6.3 MVA con un voltaje de 4.3 kV por secundario, con 11,35 km de línea y calibres Cu # 3/0 AWG, Cu # 6 AWG, Cu # 4 AWG, Cu # 1/0 AWG y ACSR 150 mm², además alimenta 97 bancos de transformadores. La carga es predominantemente residencial con consumidores de importancia como la Estación de Ferrocarriles, Salud Provincial, PCC Provincial, Policlínicos y panaderías, con una potencia activa (P) de 3 238 kW y una potencia reactiva (Q) de 875 kVAr, pérdidas totales de energía de 3162 kW.h/día y de potencia de 349 kW. El voltaje en algunos nodos alcanza valores considerablemente bajos.

Circuito 2

Parte de la misma subestación que el circuito 1 pero de dos transformadores en paralelo cada uno de 2.5 MVA de los que también se alimenta el circuito 4, su voltaje es de 4.3 kV. Es de mediana longitud ya que posee aproximadamente 5 km de longitud de líneas con calibres Cu # 2/0 AWG, ACSR 150 mm², Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG. Alimenta un total de 45 bancos de transformadores y predomina la carga residencial, de importancia tiene la Fábrica de Calzado y Policlínicos. La potencia activa en las cargas es de 2 305 kW y la reactiva es de 593 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 1 505 kW.h/día y las de potencia de 159 kW. La caída de voltajes en algunos nodos es considerable.

Circuito 3

Su voltaje es de 4.3 kV ya que es alimentado del mismo transformador que el circuito 1. La carga es predominantemente residencial con 55 bancos de transformadores y de importancia tiene el Teatro La Caridad, el Hotel Santa Clara Libre, oficinas de ETECSA y establecimientos comerciales. Su longitud es media ya que posee 4.56 km de conductores con calibres Cu # 2/0 AWG, Cu # 2 AWG, Cu # 6 AWG, Cu # 4 AWG y ACSR 150 mm². La potencia activa en las cargas es de 1849 kW y la reactiva es de 558 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 1 514 kW.h/día y las de potencia de 131 kW. La caída de voltajes en algunos nodos es considerable.

Circuito 4

Se alimenta del mismo transformador que el circuito 2, por tanto su voltaje también es de 4.3 kV. Consta con 5.37 km de líneas por lo que se puede considerar como un circuito de mediana longitud, sus conductores tienen calibres Cu # 1/0 AWG, Cu # 2 AWG, Cu # 6 AWG y ACSR 35 mm². Su carga es predominantemente residencial con 43 bancos de transformadores y como carga de importancia tiene panaderías, la Sala Amistad, Escuela de Oficio Abel Santamaría, Geocuba y la Terminal de Ómnibus Intermunicipal, demanda una potencia activa de 1 392 kW y reactiva de 367 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 1 912 kW.h/día y las de potencia de 191 kW. La caída de voltajes en algunos nodos es considerable.

Circuito 5

Su punto de origen es en la subestación CUPET, la que cuenta con 4 MVA instalados para este circuito y el 17. Alimenta un total de 30 bancos de transformadores a un voltaje de 13.8 kV y como cargas de importancia tiene la Fábrica de Mayonesa, CUPET y Cubatabaco. Es pequeño de longitud ya que sólo tiene 2.66 km de líneas con calibres Cu # 1/0 AWG, ACSR 70 mm², y Cu # 6 AWG. La carga que predomina es residencial con una potencia activa de 880 kW y reactiva de 231 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 276 kW.h/día y las de potencia de 19 kW. La caída de voltaje en todos los nodos está dentro de los niveles establecidos.

Circuito 6

Alimenta la zona de la Vigía con un voltaje de 4.3 kV y una capacidad instalada de 4 MVA. Su carga es predominantemente residencial con 46 bancos de transformadores entre los que se encuentra el Hospital Provincial y el ECOING # 25, demanda una potencia activa de 2135 kW y reactiva de 570 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 1 182 kW.h/día y las de potencia de 116 kW. Posee una longitud media ya que sus líneas recorren una distancia de 5.4 km con conductores de calibres Cu # 4 AWG, ACSR 150 mm², y Cu # 6 AWG. La caída de voltaje en todos los nodos está dentro de los niveles establecidos aunque cerca de los límites.

Circuito 7

Circuito relativamente corto, de 3 km longitud de conductor de calibre Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG que alimenta el interior de la Universidad Central de Las Villas a un voltaje de 4.3 kV y 4 MVA instalados. La carga es fundamentalmente industrial con una potencia activa de 675 kW y reactiva de 209 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 465 kW.h/día y las de potencia de 29 kW. Este circuito posee 28 bancos de transformadores y el voltaje en sus nodos está dentro de los límites establecidos.

Circuito 9

La subestación que lo alimenta se encuentra cerca del taller de moldes y troqueles con

una capacidad instalada de 1 MVA. Alimenta 46 bancos de transformadores a voltaje de 4.3 kV y de importancia tiene el taller El Vaquerito, la Fábrica de Antenas, COPEXTEL, el Policlínico Marta Abreu, entre otras. Posee 6.7 km de conductores de calibres Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG. Su carga es predominantemente industrial con una potencia activa de 956 kW y reactiva de 302 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 727 kW.h/día y las de potencia de 53 kW y la caída de voltaje está dentro de los límites establecidos.

Circuito 10

Comienza en la subestación Gran Panel y comparte con el circuito 41, 1.5 MVA de instalación. Se puede decir que es un circuito pequeño pues consta de 3.2 km de líneas de calibres ACSR 150 mm² y Cu # 6 AWG. Su carga es predominantemente residencial, aunque posee algunas de tipo industrial y de alumbrado público. Alimenta 25 bancos de transformadores entre los que se encuentra la Planta Escambray y la Reparadora UNECAMOTO, entrega una potencia activa de 948 kW y reactiva de 264 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 452 kW.h/día y las de potencia de 36 kW. El voltaje nominal de la subestación es de 4.3 kV y las caídas que se producen en el circuito no sobrepasan los valores normados.

Circuito 11

La subestación que lo alimenta se encuentra cerca de la Fábrica de Hielo y cuenta con 1.6 MVA instalados. Tiene conectados 40 bancos de transformadores a un voltaje de 4.3 kV. Es un circuito de mediana longitud ya que cuenta con 5.9 km de conductor de calibres ACSR 35 mm² y Cu # 6 AWG. La carga que alimenta es fundamentalmente residencial, con una potencia activa de 1 132 kW y reactiva de 305 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 907 kW.h/día y las de potencia de 93 kW. La caída de voltaje en algunos nodos es considerable.

Circuito 12

Se alimenta de la subestación que se encuentra en áreas del Estadio Sandino y posee 4 MVA instalados para este circuito y el 39. No tiene un predominio de un tipo de carga en

específico pues presenta varias cargas industriales y de alumbrado público aunque un poco más de residenciales. De este se energizan el Estadio Augusto César Sandino, un Banco Popular de Ahorro y el tostadero de café. Su voltaje nominal es de 4.3 kV y en ningún nodo se aprecian caídas de voltaje que sobrepasen los límites reglamentados. Posee 5 km de línea de calibres Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG por lo que puede considerarse como un circuito de mediana longitud. Entrega a los 44 bancos de transformadores que posee una potencia activa de 1 352 kW y reactiva de 4 64 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 818 kW.h/día y las de potencia de 63 kW.

Circuito 19

Comienza en la subestación de Roble la que entrega la energía a un voltaje de 13.8 kV con 6.3 MVA instalados. El tipo de carga que tiene instalada es residencial y alimenta un total de 80 bancos de transformadores entre los que se encuentra el Cardiocentro. Para ello consta con 11.5 km de conductores de calibres ACSR 150 mm², ACSR 70 mm² y Cu # 6 AWG. Entrega una potencia activa de 4 501 kW y reactiva de 1 154 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 1 566 kW.h/día y las de potencia de 141 kW. No presenta problemas de bajo voltaje en ningún nodo.

Circuito 20

Al igual que el anterior, se alimenta de la subestación de Roble a 13.8 kV pero con una capacidad instalada de 1.6 MVA. Presenta 8.6 km de líneas de calibres ACSR 70 mm² y Cu # 6 AWG para alimentar 50 bancos de transformadores que demandan una carga con predominio de tipo residencial con una potencia activa de 2 823 kW y reactiva de 476 kVAr y pérdidas totales de energía de 854 kW.h/día y las de potencia de 74 kW. Posee como carga de consideración policlínicos, SERVI Oro Negro y VERACUBA. El voltaje en todos los nodos se mantiene en niveles dentro de lo reglamentado.

Circuito 27

Se alimenta de la subestación que se encuentra cerca de Circunvalación y Carretera de Maleza a un voltaje de 13.8 kV la que cuenta con 4 MVA instalados para este circuito, el

14 y el 15. Tiene instalados 27 bancos de transformadores y su carga es mayoritariamente residencial. Es de corta longitud pues recorren 4 km con calibres ACSR 70 mm² y Cu # 6 AWG. La potencia activa en las cargas es de 1 310 kW y la reactiva es de 337 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 361 kW.h/día y las de potencia de 30 kW. No presenta problemas de bajo voltaje en ningún nodo.

Circuito 28

Comienza en la subestación que se encuentra en La Plaza de la Revolución “Ernesto Che Guevara” la cual tiene 1 MVA instalado. Recorre 2.7 km con conductores de calibres Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG. De las cargas que tiene instalada predomina la residencial y cuenta con 25 bancos de transformadores cuyo voltaje por el lado de alta es 13.8 kV. La potencia activa en las cargas es de 1 566 kW y la reactiva es de 577 kVAr, las pérdidas totales de energía son de 568 kW.h/día y las de potencia de 43 kW. No presenta problemas de bajo voltaje en ningún nodo.

Circuito 29

Su punto de origen es en la subestación Gran Panel con un voltaje de 4.3 kV y 2 MVA instalados. Es un circuito de mediana longitud pues posee 5.5 km de línea formados por conductores de calibres ACSR 150 mm², ACSR 35 mm² y Cu # 6 AWG. La carga que alimenta, entre las que se encuentra la escuela de Trabajadores Sociales es fundamentalmente residencial, está compuesta por 39 bancos de transformadores que demandan una potencia activa de 2 012 kW y reactiva de 342 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 1 032 kW.h/día y las de potencia de 100 kW. La caída de voltaje en algunos nodos es considerable.

Circuito 30

Es alimentado desde la subestación Escambray la que cuenta con 6.3 MVA instalados los que comparte con los circuitos 31 y 45. Se puede considerar como un circuito de gran longitud ya que sus líneas recorren un total de 13.5 km con conductores de calibres ACSR 70 mm², ACSR 35 mm² y Cu # 6 AWG. Con un voltaje de 13.8 kV lleva la

energía a 78 bancos de transformadores de los cuales predominan los que tienen carga tipo residencial. Demandan una potencia activa de 3 491 kW y reactiva de 595 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 1 729 kW.h/día y las de potencia de 173 kW. La caída de voltaje en ningún nodo sobrepasa los valores críticos.

Circuito 31

Comienza en la subestación Escambray al igual que el anterior por lo que su voltaje también es de 13.8 kV. Es un circuito de corta longitud pues sus líneas cubren una distancia de 2.8 km y calibres ACSR 35 mm² y Cu # 6 AWG. Posee una carga donde no hay un predominio de un tipo específico. Sus 23 bancos de transformadores demandan una potencia activa de 690 kW y reactiva de 150 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 311 kW.h/día y las de potencia de 18 kW. De este circuito se alimenta la escuela de Ciencias Médicas, el Hospital de Reposo y el Almacén de Medicamentos. No presenta problemas de voltaje en ningún nodo.

Circuito 36

Es energizado por la subestación ubicada en la Zona Hospitalaria con 1 MVA instalado. Es bastante corto de longitud ya que sus líneas recorren solo 1 km con calibres Cu # 2 AWG y Cu # 6 AWG. En su carga predomina la de tipo industrial ya que alimenta el Hospital Materno, el Infantil, la Clínica Estomatológica y el Policlínico Chiqui Gómez. Alimenta 17 bancos de transformadores a un voltaje de 4.3 kV. Demandan una potencia activa de 423 kW y reactiva de 86 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 238 kW.h/día y las de potencia de 13 kW. No presenta problemas de voltaje en ningún nodo.

Circuito 39

Se alimenta de la subestación que se encuentra cerca del Estadio “Augusto César Sandino” a 4.3 kV. Su carga es predominantemente residencial aunque posee varias industriales. A él se conectan el Poder Popular, el Banco de Sangre, Coppelia y la Clínica Santa Clara. Cuenta con 4.3 km de líneas las que tienen calibres Cu # 2 AWG, Cu # 4

AWG y Cu # 6 AWG. Los 46 bancos de transformadores con que cuenta demandan una potencia activa de 2 329 kW y reactiva de 416 kVAr y las pérdidas totales de energía son de 1 638 kW.h/día y las de potencia de 159 kW. Presenta problemas de bajo voltaje en algunos nodos.

Circuito 45

Sale de la subestación Escambray y su voltaje nominal es de 13.8 kV. Es un circuito de mediana longitud pues sus líneas recorren 6.5 km con calibres ACSR 70 mm², ACSR 150 mm², ACSR 35 mm², y Cu # 6 AWG. Alimenta 66 bancos de transformadores que demandan una carga tipo residencial con 2 882 kW de potencia activa y 749 de reactiva, las pérdidas totales de energía son de 959 kW.h/día y las de potencia de 80 kW. No presenta problemas de bajo voltaje en ningún nodo.

Como se pudo ver en la mayoría de los circuitos que se alimentan a voltaje de 4.3 kV las pérdidas de energía y las caídas de voltaje son altas, en muchos casos por encima o muy cerca de los límites establecidos en la Empresa Eléctrica (5 % de pérdidas de energía 7 % de caída de Voltaje).

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados de las corridas en RADIAL de los circuitos actuales de Santa Clara en la que se señalan los valores totales de los de 4.3 y 13.8 kV así como la suma de ambos. También se resaltan los valores de pérdidas y voltajes que están fuera de los límites.

Tabla 2.2 Resultados de las corridas en RADIAL de los circuitos actuales de Santa Clara

Circuito	1	2	3	4	6	7	9	10	11	12	29	36	39	Total (4.3)	5	19	20	27	28	30	31	45	Total (13.8)	Total
kV	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	66.25	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	52.3	118.55
Longitud (km)	11.35	5	4.5	5.4	5.4	3	6.7	3.2	5.9	5	5.5	1	4.3	66.25	2.7	11.5	8.6	4	2.7	13.5	2.8	6.5	52.3	118.55
# bancos trf	97	45	55	43	46	28	46	25	40	44	39	17	46	571	30	80	50	27	25	78	23	66	379	950
tipo carga	R	R	R	R	R	R	I	R	R	MR	R	I	R		R	R	R	R	R	R	MR	R		
% V max	13	7.5	7.6	12	5	2	2.6	3	6	3.7	5.4	1	6.7		0.2	2.5	0.8	0.3	0.4	4.5	0.3	1		
P (kW)	3238	2305	1849	1392	2135	675	956	948	1132	1352	2012	423	2329	20746	880	4501	2823	1310	1566	3491	690	2882	18143	38889
Q (kVAr)	875	593	558	367	570	209	302	264	305	464	342	86	416	5351	231	1154	476	337	577	595	150	749	4269	9620
dP líneas (kW)	264	107	84	156	66	7	20	13	60	30	53	2	106	968	1	43	13	2	2	92	2	19	174	1142
dQ líneas (kVAr)	281	139	90	56	81	4	15	17	37	23	65	1	80	889	1	47	14	3	2	76	1	21	165	1054
dPcu trf (kW)	59	42	28	25	39	12	19	16	25	20	37	5	40	367	12	82	50	22	33	65	9	48	321	688
dPfe trf (kW)	25	11	19	10	11	10	15	7	8	13	9	6	13	157	6	16	11	5	7	16	8	13	82	239
dPtotal (kW)	349	159	131	191	116	29	53	36	93	63	100	13	159	1492	19	141	74	30	43	173	18	80	578	2070
% dP	10	6	7	12	5	4	5	4	8	4	5	3	6		2	3	3	2	3	5	3	3		
Qc (kVAr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
Pcogeneración (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		
Ea (MW.h)	47	32	29	22	30	12	16	14	16	21	29	7	35	310	12	62	40	18	21	49	12	40	254	564
Er (MVA.h)	14	9	11	7	9	5	7	4	5	8	6	2	8	95	4	16	7	5	8	9	4	11	64	159
dE líneas (kW.h)	1991	837	780	1383	531	93	191	129	466	294	459	27	941	8122	7	357	113	17	20	734	22	167	1437	9559
//////	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		///	///	///	///	///	///	///	///		
dEcu trf (kW.h)	565	401	278	300	394	141	187	150	255	224	355	61	378	3689	128	829	486	219	369	617	94	487	3229	6918
dEfe trf (kW.h)	606	267	456	229	256	230	348	173	186	300	219	151	320	3741	142	380	256	125	180	379	196	305	1963	5704
dEtotal (kW.h)	3162	1505	1514	1912	1182	465	727	452	907	818	1032	238	1638	15552	276	1566	854	361	568	1729	311	959	6624	22176
% dE	6	4	5	8	4	4	4	3	5	4	3	3	5		2	2	2	2	3	3	3	2		

2.2 COMPROBACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CIRCUITO 1 ORIGINAL Y CON LAS CARGAS CONCENTRADAS

Para poder realizar las corridas en **RADIAL** concentrando las cargas de los circuitos nuevos que se desean instalar en la ciudad se decidió comprobar con uno de los circuitos actuales que los resultados con la carga concentrada son aproximadamente iguales a los de los originales.

Para ello se dividió la ciudad en cuadros de 500x500 m y se sumó la carga que quedaba comprendida dentro de cada uno. Recorriendo el tronco del circuito se fueron colocando las cargas según la cuadrícula por donde pasara y se obtuvieron las longitudes de las líneas del programa **MAPINFO**. Así quedó construido un circuito pequeño, con pocos nodos y que comparando los resultados de las corridas con las del original se puede determinar si es válida la aproximación que se desea realizar.

En la tabla 2.3 se muestran los resultados generales que se obtuvieron y se puede ver que los aspectos más importantes a tener en cuenta son aproximadamente iguales.

Tabla 2.3 Resultado de las corridas del circuito 1 concentrado y original

Resultados Generales, hora de análisis : 21		
	Carga concentrada	Circuito original

Concepto	Valor	Unidad		Valor	Unidad
Potencia activa de las cargas	3147	kW		3238	kW
Potencia reactiva de las cargas	797	kvar		875	Kvar
Pérdidas activas en líneas	267	kW		264	kW
Pérdidas reactivas en líneas	216	kvar		281	Kvar
Pérdidas de cobre en transf.	29	kW		59	kW
Pérdidas de hierro en transf.	43	kW		25	kW
Pérd. totales de potencia activa	339	kW		349	kW
% de pérdidas de potencia	10	%		10	%
Potencia reactiva en capacitores.	0	Ckvar		0	Ckvar
Potencia activa de cogeneración	0	kW		0	kW
Energía activa de las cargas	46	MW.h		47	MW.h
Energía reactiva de las cargas	12	Mvar.h		14	Mvar.h
Pérdidas de energía en líneas	2594	kW.h		1991	kW.h
Pérdidas de energía Cu en transf.	347	kW.h		565	kW.h
Pérdidas de energía Fe en transf.	1027	kW.h		606	kW.h
Pérdidas totales de energía	3967	kW.h		3162	kW.h
% de pérdidas de energía	8	%		6	%

CAPÍTULO 3. PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA

Introducción

Como ya se expuso en el capítulo anterior, la ciudad de Santa Clara presenta grandes pérdidas de potencia y energía, así como caídas de voltaje considerables debido fundamentalmente a que la carga ha aumentado en los últimos años y se ha seguido operando el sistema sin realizarle los cambios necesarios para satisfacer la demanda con calidad en el servicio.

Por esta razón es necesario buscar soluciones que contribuyan primeramente a garantizar que los niveles de voltaje estén dentro de los valores normados y que el servicio se afecte el menor tiempo posible. También se debe tener en cuenta que las pérdidas se reduzcan al mínimo pues cada kW.h le cuesta al país 0.24 kg de combustible.

En este capítulo se proponen soluciones que se ajustan a lo antes expuesto, para lo cual fue necesario estimar la carga de la ciudad por zona.

Teniendo en cuenta la iniciativa de la Empresa Eléctrica de Villa Clara de la ubicación de subestaciones de 110/13 kV se propone eliminar algunas de las existentes y alimentar los circuitos desde otra que tenga capacidad para esto.

Se proponen los caminos que deben seguir los alimentadores teniendo en cuenta el aprovechamiento de las líneas ya existentes y buscando la posibilidad de interconexiones entre los circuitos.

3.1 ESTIMACION DE LA CARGA DE LA CIUDAD POR ZONAS

Teniendo los circuitos de la ciudad ubicados en un mapa cuadrulado en áreas de 500x500 m se sumaron los kVA de todas las cargas que quedaron dentro de cada cuadro para conocer cómo se distribuye la carga en la ciudad.

En la Figura 3.1 se muestra la distribución de la carga en la ciudad, resultado de suma importancia para determinar las propuestas de subestaciones a instalar y las rutas que seguirán los alimentadores que llevarán la energía a los consumidores.

Límite de la Circunvalación _____

		43		667	490	705	80	305	275	0
			368							
278	58	75	361	447	860	270	720	170	65	40
148	80	62	152	745	634	510	740	420	250	120
	125	100	445	112	650	1569	1269	475	635	515
596		525	920	800	810	1833	1932	825	1190	1005
0	715	632	1460	1102	1635	1067	1127	830	1015	450
0	10	75	150	645	1060	1065	1100	752	805	757
0	0	0	30	345	515	415	435	710		70
0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0

Figura 3.1 Distribución de la carga en la ciudad de Santa Clara

3.2 PROPUETA DE SUBESTACIONES PARA ALIMENTAR LA CIUDAD DE SANTA CLARA

Como se puede ver en la Figura 3.1 la zona más cargada de la ciudad es el centro por lo que se decidió mantener la subestación Ciudad (Ferrocarril) y también la de Roble, Maleza y Fábrica de Hielo. También se propusieron dos subestaciones de 110/13 kV, una en Escambray y otra en Zona Industrial.

En la Figura 3.2 se muestra la ubicación de las nuevas subestaciones para satisfacer la demanda de la ciudad. Como se puede observar con esta solución se eliminan 7 subestaciones lo que es ventajoso para la operación de la red ya que facilita el trabajo y disminuye las afectaciones a los clientes.

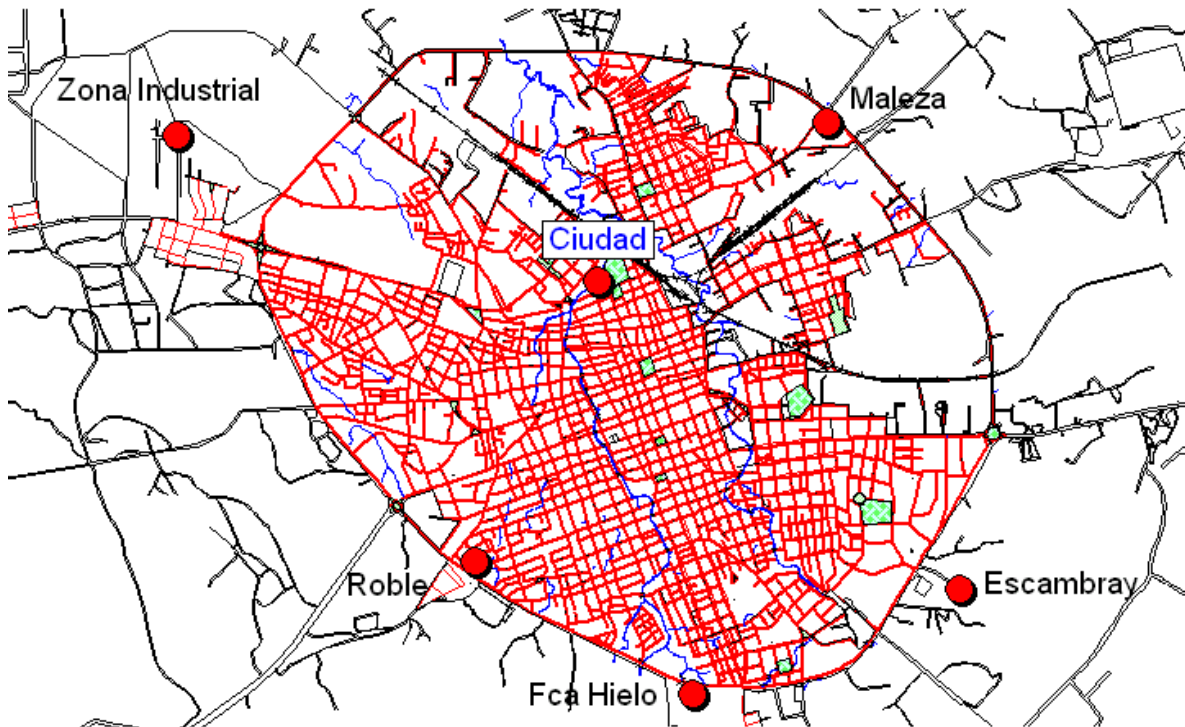


Figura 3.2 Ubicación de las nuevas subestaciones a instalar en Santa Clara

3.3 PROPUESTA DE LOS ALIMENTADORES DE LOS NUEVOS CIRCUITOS DE SANTA CLARA

Con la propuesta de ubicación de las nuevas subestaciones en Santa Clara y teniendo en cuenta el máximo aprovechamiento de las líneas existentes se definieron los corredores de los nuevos circuitos y usando el **RADIAL** se les realizaron corridas para determinar su operación.

En la Figura 3.3 se pueden ver los alimentadores que se proponen para los nuevos circuitos de la ciudad. Como se observa la ciudad se cubre con 22 circuitos los que se pueden interconectar unos con otros para lograr que se afecten la menor cantidad de clientes en caso de avería.

En la Figura 3.3 se enumeraron los circuitos para poderlos identificar.

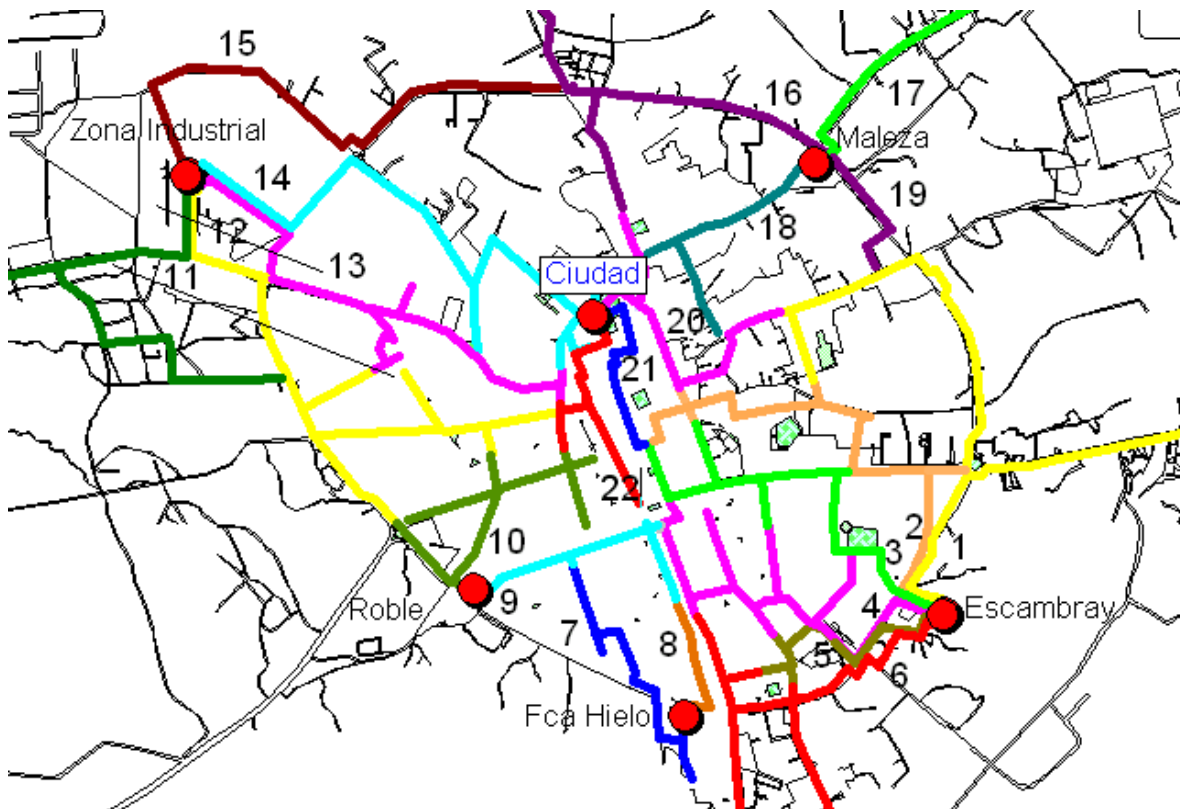


Figura 3.3 Alimentadores de las líneas de la nueva propuesta

3.4 OPERACIÓN DE LAS NUEVAS REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA PROPUESTAS PARA SANTA CLARA

Para determinar la operación de los nuevos circuitos, estos se implementaron en **RADIAL** concentrando las cargas en el tronco teniendo en cuenta la opción más lógica para cubrir toda la ciudad de manera que se aprovechara al máximo las estructuras ya instaladas.

Todos los troncos llevarán conductores ACSR 150 mm² lo que reducirá grandemente las pérdidas debido a que muchos actualmente tiene Cu # 6 AWG que no está acorde con la demanda del circuito.

En la Tabla 3.1 se muestran los resultados de las corridas de los circuitos en **RADIAL**, en la que se observa claramente que las pérdidas disminuyen grandemente y los voltajes en los nodos se mantienen en valores dentro de lo reglamentado.

La suma de las pérdidas totales de todos los circuitos actuales es de 21 709 kW.h diarios mientras que las de los que se proponen son de 15 067 kW.h/día, lo que representa un ahorro de 6 642 kW.h/día, que en un año equivalen a alrededor de 2,4 GW.h (alrededor de 570 t de petróleo, que a los costos actuales suman a 360 000 USD.anuales)

Tabla 3.1 Resultados generales de las corridas de los circuitos propuestos en RADIAL

CONCLUSIONES

Con la ejecución del trabajo se arribó a las siguientes conclusiones:

1. La ciudad de Santa Clara posee un excesivo número de subestaciones surgidas por la premura operativa de resolver situaciones críticas lo que provoca pérdidas apreciables y que se tengan que realizar las operaciones en puntos distantes.
2. El método de sustituir circuitos reales por equivalentes concentrados ha demostrado su eficacia en el desarrollo del trabajo.
3. Es posible, con el uso de subestaciones de 110/13 kV, eliminar varias de las que existen actualmente de 34.5/13 kV, lo que reducirá las pérdidas al eliminar un paso de transformación.
4. De los circuitos de la ciudad, 20 operan a 4.16 kV. Con el aumento de la carga que se ha presentado no es recomendable este voltaje por lo que es necesario convertirlos a 13.8 kV. Esto, a su vez reducirá considerablemente las pérdidas en líneas.
5. Algunas líneas están formadas por conductores de calibres inadecuados lo que provoca grandes pérdidas y caídas de voltajes por lo que se propuso el uso de conductor ACSR 150 mm² en los troncos de todos los circuitos.
6. Con la propuesta que se hace para la distribución primaria en Santa Clara se logran reducir las pérdidas de energía totales de la ciudad y eliminar las zonas de bajo voltaje así como interconectar los circuitos para afectar la menor cantidad de clientes en caso de mantenimiento o averías.

BIBLIOGRAFÍA

- Casas Fernández, Leonardo. Sistemas Electroenergéticos. UCLV, Santa Clara,(1973)
- Martínez Rodríguez, Boris A. Valoración sobre factibilidad de cambio de voltaje de distribución en la ciudad de Cienfuegos. Empresa Eléctrica de Cienfuegos (1999).
- Unión Nacional Eléctrica (UNE), Directiva sobre planeamientos. (2004).
- Stevenson, William D.” Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia”.
- Universidad Central de Las Villas (UCLV) Conferencias de Sistemas Eléctricos.

http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electronica_y_electronica/sistemadistribucionenergiaelectrica/

<http://www.megawatt.com.pe/articulos/conector/con12subs.htm>