

**Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas.  
Facultad de Ingeniería Eléctrica  
Departamento de Electroenergética.**



## **Trabajo de Diploma**

**Título: Conversión a 13 kV y reconfiguración  
de la red de distribución primaria  
en la ciudad de Cienfuegos.**

**Autor: Elvis Waren Varela.  
Tutores: MSc. Elías Pérez Fernández.  
MSc. Roberto Ripoll Salcines.**

**Santa Clara  
2009 - 2010  
“Año 52 de la Revolución”**

*"Las personas que piensan que no son capaces de hacer algo, no lo harán nunca, aunque tengan las aptitudes."*

*Indira Ghandi.*

## **Dedicatoria.**

---

*Le dedico este trabajo a las personas que se mantuvieron siempre al margen de mi vida, a los que confiaron, me apoyaron y me brindaron siempre sus mejores consejos. Siempre los llevaré en el corazón porque son la razón de mi vida.*

*-A mi mamá y a mi papá*

*Gracias por ser tan buenos padres.*

*-A mi hermanita Eliza.*

*Espero servirte como guía en todo momento.*

*-A mi abuela y mi tía Eloina.*

*Gracias por su preocupación en todo momento.*

*-A mis primos, en especial a Robertico y Michel.*

*Creo que para que voy a decir algo, ustedes saben cuánto los quiero.*

*-A mis segundos padres inclúyanse en ellos Andrés, Rubencito.*

*Sus consejos siempre fueron útiles.*

*Agradezco infinitamente a todas las personas que de una forma u otra han aportado un granito de arena para la realización de esta tesis y para que yo me haya podido realizar como ingeniero:*

*-A Elías y su familia.*

*Gracias por soportarme todo este tiempo, hermano.*

*-A Ripoll*

*Gracias por tu ayuda.*

*-A mis amigos y vecinos que siempre pienso en ustedes, Mariela, Rey, Alexis, Duniesky, Niester, Yeny, Marlén, Rafa.*

- Al personal de la Empresa Eléctrica en especial a Amaury y al Departamento de Inversiones .*
- A todos los profesores que durante la carrera me guiaron y aconsejaron por el camino correcto, haciendo que me esforzara al máximo, gracias por sus enseñanzas.*
- A mis amigos del aula y en especial a los de mi cuarto Yandi y Hernández.*

*A todos ustedes Muchas Gracias.*

## Tarea Técnica.

---

- ✓ Analizar y valorar la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos: calibre de conductores, transformadores de distribución primaria.
- ✓ Actualizar e interpretar los monolineales pertenecientes a la ciudad de Cienfuegos utilizando los monolineales existentes en la base de datos del OBE Cienfuegos.
- ✓ Actualizar los datos y las curvas de las cargas de la biblioteca del Radial 7.7 para su utilización.
- ✓ Reconfiguración de los circuitos de la ciudad debido a la puesta en marcha de la nueva subestación 110/13.8 kV (Sub Rusa).
- ✓ Actualizar las características de las cargas con la ayuda de las lecturas realizadas con los Nulec.
- ✓ Calcular dos barras 110/13.8 kV y una 33/13.8 kV para la distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos con el objetivo de obtener una mejor calidad de la energía suministrada.
- ✓ Análisis de la reconfiguración de los circuitos ante averías.
- ✓ Análisis de los resultados de las variantes estudiadas.
- ✓ Análisis en régimen de averías
- ✓ Conclusiones del proyecto.

El presente estudio surge como una necesidad del país y de la ciudad de Cienfuegos de disminuir las pérdidas relacionadas con la distribución de la energía, insertándose en una de las líneas de investigación de la Unión Nacional Eléctrica, la sustitución de subestaciones 33/13.8 kV por subestaciones de 110/13.8 kV, lo que constituye una prioridad en este momento. Como respuesta a ello y a la apremiante necesidad existente, surge la decisión de construir una nueva subestación de este tipo. Esto trae consigo la reconfiguración de la red de distribución primaria, teniendo que convertir los circuitos que aún se alimentan a 4.16 kV y reconfigurar los existentes, que operaban a 13 kV. Para ello se realizó un análisis profundo de la situación actual a través de la actualización de los circuitos de distribución primaria en la urbe, obteniéndose datos que fueron utilizados en el Software Radial 7.7. El análisis de los resultados obtenidos en dicho Software permitió arribar al esquema definitivo de la red en cuestión, asegurando la operación de la misma con un mínimo de pérdidas de potencia y energía. Dichos resultados sirvieron además, para crear los monolineales que se utilizarán por parte del Despacho Eléctrico en caso del surgimiento de una avería en una de las subestaciones, así como la carga que asumiría cada subestación en ausencia de una de las tres existentes.

## **Leyenda de abreviaturas.**

---

Sub: Subestación

kV.A Inst.: Potencia aparente instalada.

Cto(s): Circuito(s).

kvar Dem: Potencia reactiva demandada.

Ckvar: Potencia reactiva de los capacitores.

kW Dem: Potencia activa demandada.

kV.A Dem: Potencia aparente demandada.

f.p: Factor de potencia.

L (km.): Longitud total de las líneas de los circuitos.

PP (kW): Pérdida de potencia.

PE (MW.h): Pérdida de energía.

Cfgos: Nombre de una subestación.

**Introducción:**.....

**Capítulo I: Situación de la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos.... 4**

1.1 Principales aspectos de la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos.....	5
1.1.1 Descripción de las principales características de cada subestación de la ciudad de Cienfuegos .....	4
1.1.2 Análisis de las características de cada circuito de la ciudad de Cienfuegos.....	10
1.1.3 Principales problemas que afectan la red de distribución primaria en la localidad..	21
1.2 La utilización del software Radial 7.7 como pieza fundamental en el estudio de la ciudad de Cienfuegos. ....	22
1.2.1 Método para la obtención de pérdidas en el Radial 7.7.....	22
1.2.2 Horarios de demanda máxima y tipo de gráficos.....	23
1.2.3 Estimación del crecimiento vegetativo.....	25

**Capítulo II: Reconfiguración de las redes de distribución primaria de la Ciudad de Cienfuegos.....26**

2.1 Aspectos fundamentales para la reconfiguración de una red de distribución primaria...27	
2.1.1 Reconfiguración de un circuito de distribución primaria.....	27
2.1.2 Balance de carga en las redes de distribución primaria.....	29
2.1.3 Compensación de potencia reactiva en los circuitos de distribución primaria.....	30
2.1.4 Crecimiento de las cargas.....	31
2.1.5 Características de un sistema de distribución según la carga que alimenta.....	31
2.2 Nueva reconfiguración de las redes de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos. ....	33
2.2.1 Subestaciones 110/13.8 kV en Cienfuegos.....	33
2.2.2 Estudio y resultados de la Etapa 0.....	34
2.2.3 Puesta en marcha de la Etapa I.....	35
2.2.4 Puesta en marcha de la Etapa II.....	38

2.2.5 Puesta en marcha de la Etapa III.....	41
<b>Capítulo III: Análisis de operación del sistema ante régimen de averías .</b> .....	43
3.1 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Cfgos 13 kV.....	43
3.2 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Rusa.....	45
3.3 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Junco Sur .....	47
<b>Conclusiones:</b> .....	48
<b>Recomendaciones:</b> .....	49
<b>Bibliografía:</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexos:</b> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

El ahorro de energía se ha convertido en los últimos tiempos en una prioridad a nivel mundial, lo que se traduce en un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles ya sea para la generación de energía eléctrica, como para la distribución de la misma. En Cuba, el sector eléctrico ha sufrido restricciones de recursos financieros que no han permitido el adecuado desarrollo en la ampliación y el mantenimiento a la red de distribución eléctrica; esto ha provocado altas pérdidas de energía (del orden del 16%), principalmente por causas técnicas en la red de distribución primaria.

La Unión Nacional Eléctrica (UNE) ha comenzado desde el año 2000 un programa de reducción de pérdidas con mejoras en las redes, con el objetivo de reducirlas a un 11%. Hasta el año 2007 se habían ejecutado proyectos de este tipo en varias ciudades del país con inversiones limitadas, los que han posibilitado una gradual recuperación. Para ello se utilizaron los más diversos adelantos de la ciencia y la tecnología, incluyendo para este período la construcción de una subestación moderna 110/13.8 kV de origen ruso equipada con tecnología de punta.

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.

Los nuevos conceptos de planeamiento de la distribución están regidos por la concepción de minimizar las afectaciones del servicio al consumidor, lo cual ha elevado el grado de participación de los costos de la distribución en relación con los costos totales de la electricidad. Es por ello que cada vez más se requiere de una cuidadosa planificación en el sistema de distribución de manera que los recursos se inviertan de la forma más eficiente posible.

En la ciudad de Cienfuegos la red de distribución primaria cuenta en la actualidad con 24 circuitos, de estos, 13 operan con un voltaje de 4.16 kV y los restantes a un voltaje de 13.8 kV. Estos circuitos son alimentados desde 9 subestaciones ubicadas en diferentes puntos de la urbe, cuatro de ellas operan con una regulación de voltaje de 34.5/13.8 kV, otras cinco subestaciones

trabajan a 34.5/4.16 kV y una 110/13.8 kV. La energía de estas 9 subestaciones proviene de la barra Carlos Manuel de Céspedes 110/34.5 kV que se encuentra seriamente sobrecargada (96.6 %). Además existe una baja fiabilidad de respaldo entre las barras, pues la mayoría de estas subestaciones están operando actualmente a más de un 70 % de cargabilidad, lo que provocaría que ante algún fallo o emergencia estas no estén en condiciones de brindar respaldo entre sí. Tampoco podrán asimilar nuevas cargas que se prevén surjan en un futuro como parte del desarrollo petrolero en la ciudad. Esta situación determinó plantear como **objeto de estudio** de la presente investigación: La caída de voltaje y las pérdidas de potencia y energía en las redes de distribución primaria con una nueva configuración de los circuitos primarios.

Se trazó como **problema científico**: ¿Cómo distribuir la energía de la nueva subestación 110/13 kV garantizando las menores pérdida y caídas de voltaje posibles?

En respuesta al problema científico surgieron las siguientes **hipótesis**:

1. La reconfiguración de la red de distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos trae consigo una disminución de las pérdidas de potencia y produce un mayor ahorro de energía a partir del incremento de los niveles de voltajes y la eliminación de un nivel de transformación.

El **objetivo general** consistió en: Reconfigurar la red de distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos alimentada desde dos subestaciones 110/13.8 kV y una 33/13.8 kV, operando la red en condiciones normales o en régimen de averías.

**Objetivos específicos:**

- ✓ Analizar la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos.
- ✓ Actualizar e interpretar los monolineales pertenecientes a la ciudad de Cienfuegos.
- ✓ Enriquecer la biblioteca del Radial 7.7 puesto que para cada circuito el comportamiento de la demanda en el tiempo no es igual en todos.
- ✓ Calcular tres barras para la distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos cambiando la configuración existente con el fin de ahorrar energía por concepto de pérdidas en las líneas de distribución.

- ✓ Analizar la red de distribución primaria alimentada desde dos subestaciones en régimen de avería o mantenimiento de una subestación.

La realización de este proyecto da un aporte significativo a la población y la empresa, debido al gran ahorro de energía que produce al aumentar el voltaje de operación, así como por el hecho de que provoca el cambio de voltaje desde niveles de transmisión a distribución primaria directamente sin pasar por el nivel de subtransmisión con solo dos transformadores (Casas Fernández, 1977); lo cual evita las pérdidas de los numerosos transformadores que implica la transferencia del nivel de transmisión a subtransmisión y de este último al nivel de distribución. Solucionando además, el problema de los dispositivos que componen los sistemas de distribución a 4.16 kV que están desapareciendo del mercado internacional, así como también se podrán instalar nuevas cargas que están previstas y que sin embargo actualmente en nuestra ciudad no se permite su asimilación al nivel de 4.16 kV.

El estudio se proyectó para realizar una modelación en la red de distribución primaria de la ciudad, teniendo como premisa el principio del máximo aprovechamiento de las instalaciones y componentes ya existentes, las que no serán desechadas sino utilizadas como puntos de distribución o reubicadas en otros puntos de la localidad. Por otro lado, la profundidad de los análisis permite ejecutar inversiones teniendo en cuenta un plan general a largo plazo, lo que implica un trabajo más acorde con las exigencias de los tiempos actuales, en que debe hacerse cada inversión con máxima eficiencia y mínimo de recursos, acogiéndose a la política desarrollada en el país.

El contenido de la tesis se estructura de forma tal que en el primer capítulo se realizó un análisis de la situación actual de los circuitos y subestaciones que operan en la localidad para su posterior reconfiguración teniendo en cuenta que en los mismos se realizaran cambios en los calibres primarios y sus trazas, también se tuvo en cuenta la división de los circuitos secundarios, (ya que estos aportan nuevos transformadores de distribución a los circuitos), bancos de capacitores, cantidad y tipos de interrupciones, así como la cargabilidad a la que estos se ven sometidos en sus horarios de mayor demanda, obteniéndose además las curvas de demandas para cada subestación y circuito, permitiendo así lograr una caracterización de los horarios de máxima demanda.

En el segundo capítulo se comienza a partir de los resultados obtenidos en el Capítulo I, teniendo en cuenta las diferentes premisas para la reconfiguración de una red de distribución

primaria. Con los datos obtenidos del análisis se estructuró el proyecto por etapas, para la ejecución de este paso se hizo necesario realizar las corridas del Radial 7.7 de todos los circuitos para una hora fija (19 horas), la determinación del ahorro de pérdidas de potencia y energía se realizó mediante la comparación de cada variante respecto a la configuración actual de los circuitos sin convertir.

En el tercer capítulo se realiza un análisis de la red operando ante condiciones anormales, ya sea por mantenimientos de la propia subestación o por averías que se puedan producir en las mismas. Fue necesario analizar las variantes de asimilación de algunos circuitos de forma tal que las subestaciones se sobrecargaran lo menos posible.

# **Capítulo I: Situación actual de la red de distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos.**

---

## **1.1 Principales aspectos de la red de distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos.**

El presente capítulo se realiza con el propósito de lograr el máximo conocimiento sobre la red de distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos (Ver Anexo #1). En esta investigación el diplomante se dio a la tarea de abordar una serie de temas con el objetivo de obtener las principales características de las subestaciones y circuitos de la localidad, siendo este paso fundamental para el posterior estudio de la nueva configuración de las redes de la urbe.

Con la presente investigación se pretende conocer entre otras características, el nivel de carga que actualmente presentan los transformadores de distribución y los de las subestaciones, lo que permitirá establecer una comparación entre la demanda máxima y la capacidad instalada y observar en qué medida estos están trabajando sobrecargados o subcargados (% de cargabilidad). Al examinar los circuitos se podrá conocer los tipos de conductores y distancias de los mismos así como las capacidades de cada banco de capacitores y su situación técnica operativa.

La redes de la localidad se alimentan en la mayor parte por líneas de 34.5 kV (interruptores 1610, 1615 y 1620) las cuales provienen de la subestación de 110/34.5 kV ubicada en la termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes y por una línea de 110 kV que alimenta a la subestación Junco Sur (110/13,8 kV), la barra de 110/34,5 kV cuenta con 50 MV.A nominales de capacidad instalada en dos transformadores de 25 MV.A conectados en paralelos, aunque en la práctica los mismos solo pueden llevar 22 MV.A por limitaciones del fabricante. En estos momentos por envejecimiento del aislamiento y otros factores solo aportan 20 MV.A al sistema. Como la demanda de la ciudad ha crecido considerablemente por la influencia de los polos petroquímico, turístico y por el crecimiento de la carga residencial, esta barra se encuentra hoy sobrecargada, debido a esto, las conversiones de 4 a 13 kV deben hacerse con subestaciones que se alimenten por alta con 110 kV. De esta forma se va liberando poco a poco la carga de estos transformadores de 110/33 kV (ubicados en la barra CMC) que solo asumirán la carga industrial y las subestaciones rurales muy alejadas de la ciudad.

La ciudad cuenta con dos baterías ubicadas en la zona de Junco Sur, las cuales entregan 30 MW al sistema, una de ellas tira directamente a la línea del interruptor 658 y la otra a la barra de 13 kV de la Sub Junco Sur (110/13.8 kV).

### **1.1.1 Descripción de las principales características de cada subestación de la ciudad de Cienfuegos.**

La importancia de una subestación depende de la función que realiza dentro del sistema, obedeciendo a la necesidad específica para la que haya sido diseñada y construida. Su componente principal lo constituye el transformador alrededor del cual se colocan y operan toda una serie de equipos y dispositivos que complementan y facilitan la función de los mismos, por lo que su costo dependerá en gran medida de la complejidad y función de los mismos.[1]

Las subestaciones de distribución son por simplicidad y por el carácter del servicio que prestan son tipificables; el mayor número de ellas tiene como objetivo alimentar circuitos radiales, que son los más ampliamente usados, para hacer llegar la energía hasta los consumidores. Las diferencias entre las subestaciones, radican fundamentalmente entre las que se encuentran en áreas urbanas y las que se encuentran en áreas rurales; las primeras son de mayor capacidad y por lo general cuentan con varios circuitos de salida, mientras que las últimas es muy común que cuenten con un solo circuito. Para estas últimas sobre todo, se han desarrollado instalaciones compactas que en forma fácil y ocupando espacio reducido incorporan los principales equipos como: transformadores, instrumentos de medición, interruptores, etc. [1]

#### **Subestación Cienfuegos 4 kV.**

La subestación Cienfuegos 4 kV, está ubicada en la parte Centro Sur de la urbe, presentando dos transformadores de 4 MV.A con una barra seccionalizada que permite ante la salida de uno de los transformadores mantener el servicio sin necesidad de que todos los circuitos salgan del mismo. Estos transformadores presentan una relación de transformación de 34.5/4.16 kV. La demanda máxima de esta subestación en el horario pico es de 4968 kV.A, este valor en relación con el consumo histórico ha decaído puesto que se han convertido parte del circuito 1 y del circuito 3 que se alimentaban de dicha subestación. En estos momentos tiene un nivel de cargabilidad de 62 % (Ver Anexo #2). Cuenta además con 4 salidas con Celdas Italianas alimentando los

circuitos (1, 2, 4 y 5) y una con un interruptor NULEC (3). Como detalle significativo se puede enunciar que los circuitos 4 y 5 presentan gráficos atípicos no residenciales.

### **Subestación Junco Sur**

La subestación Junco Sur haciendo referencia a su nombre está enclavada al Sureste de la ciudad, tiene como característica fundamental que allí mismo se construyó la primera subestación 110/13.8 kV que existe en la ciudad. La misma cuenta con un transformador de 25 MV.A 110/13.8 kV con una demanda máxima en el horario pico de 10.53 MV.A lo que representa una cargabilidad de un 42 % (Ver Anexo #3).

### **Subestación Hospital**

Esta barra es de gran importancia para la localidad pues se encuentra ubicada en la misma subestación Cienfuegos 4 kV, cuenta con un transformador de 2.5 MV.A con una relación de voltaje de 34.5/13.8 kV. Tiene una sola salida que le brinda un servicio exclusivo al circuito 64 que alimenta al Hospital Provincial de Cienfuegos “Gustavo Aldereguía Lima” y le sirve de respaldo al circuito 20 para alimentar el ramal del Hospital Pediátrico “Panchito Gómez Toro”. En estos momentos el transformador de esta subestación se encuentra frío y el circuito 64 forma parte del circuito 17 que se alimenta de Junco Sur 110/13 kV. No obstante se aumentará la capacidad del transformador y se usará en un proceso transitorio para la conversión de los circuitos que se alimentan de la subestación Cienfuegos 4 kV.

### **Subestación Plaza**

Ubicada en el Sur de la ciudad, su posición geográfica la hace la más idónea para situar o construir una subestación 110/13.8 kV, pero tiene como gran inconveniente que esta zona es muy baja con una gran probabilidad de inundación ante eventos climatológicos duraderos, por eso se decidió ubicar la nueva barra en una zona cercana. Esta subestación cuenta en estos momentos con un transformador de 4 MV.A y una relación de transformación 34.5/13.8 kV. Su corriente se interrumpe con fusibles y un interruptor NULEC en su única salida que alimenta al circuito 20. En el horario pico tiene una máxima demanda de 1750 kV.A en condiciones normales de operación, para un 44 % de cargabilidad (Ver Anexo #4).

### **Subestación Reina**

Colocada al Suroeste de la ciudad, presenta un transformador de 4 MV.A que opera con una relación de transformación de 34.5/4.16 kV, esta barra alimenta a dos circuitos: el 65 y 66 que recorren una parte del Casco Histórico y presenta interruptores NULEC para la interrupción de la corriente. En su horario de máxima demanda alcanza el valor de 2763 kV.A con una cargabilidad de 69 % (Ver Anexo #5). Es de importancia señalar que esta zona de la ciudad experimenta una baja en el crecimiento futuro con una tendencia a desaparecer sus cargas más significativas, ya que en el momento de esta investigación se habían desmantelado un gran por ciento de las mismas. Además, la posición geográfica donde está enclavada esta zona tiene como limitante que es la más alejada para su alimentación por lo que se hace necesario que se realice mediante otros circuitos conllevando esto a un incremento en las pérdidas y en la regulación del voltaje.

### **Subestación San Lázaro.**

Está situada al oeste de la ciudad y presenta como limitante que es una zona muy baja y cercana a Arroyo Inglés, por lo que es un lugar propenso a inundaciones. Esta subestación presenta un transformador de 6,3 MV.A que opera con una relación de transformación de 34.5/4.16 kV. Tiene tres salidas con interruptores NULEC que alimentan los circuitos 79, 80 y 81, en el horario pico muestra una demanda máxima de 5525 kV.A por lo que su cargabilidad es de 88 % (Ver Anexo #6). En el momento del estudio a esta subestación se le estaba retirando carga del circuito 79 que está siendo convertido a 13 kV para el circuito 92.

### **Subestación Pastorita.**

Esta barra está ubicada en la parte Noroeste de la localidad, exhibe 2 transformadores de 2.5 MV.A que trabajan con una regulación de voltaje de 34.5/4.16 kV, presenta dos salidas con interruptores VMD 741, que alimentan los circuitos 7 y 67, los cuales en su horario pico demandan 1896 kV.A por lo que su por ciento de cargabilidad es de 38 % (Ver Anexo #7). Esta subestación tenía instalado 2 transformadores de 1600 kV.A pero debido a que estaba sobrecargada y como consecuencia de una mejora que se realizaría por parte de la EMCE a la termoeléctrica, se decidió aumentar la capacidad de la subestación ya que la propia EMCE utiliza el servicio eléctrico de esta subestación a través del circuito 7, por ello se decidió instalar

5 MV.A. Durante la investigación para esta tesis se estaba llevando a cabo la conversión de 2500kVA del mismo para el circuito 92.

### **Subestación Pueblo Griffo.**

Ubicada en el Centro Norte de la localidad, esta barra cuenta con 2 transformadores de 6.3 MV.A que opera con una regulación de voltaje de 34.5/13.8 kV, presenta tres salidas que alimentan los circuitos 91, 92 y 93. De esta subestación se alimentan cargas importantes como lo son el Poligráfico y los Almacenes de Tiendas Minoristas de gran importancia para el desarrollo del país. En el horario de máxima demanda esta subestación tiene una demanda de 5446 kV.A por lo que su cargabilidad es de 43 % (Ver Anexo #8). Además fueron colocados cuatro NULEC, uno por alta 34.5 kV y tres por baja 13.8 kV facilitando así la interrupción y obtención de datos de los circuitos. Esta subestación fue proyectada con un transformador de 6.3MV.A para alimentar los circuitos 91, 92, 93 pero para poder convertir los circuitos vecinos fue necesario instalar un segundo transformador de 6.3 MV.A. En estos momentos ha asimilado 2 MV.A que se han convertido recientemente.

### **Subestación Caonao 4 kV.**

Esta subestación ha perdido mucha de su carga debido a las conversiones que poco a poco se vienen realizando en el circuito 8 como parte de las mejoras de la Revolución Energética. Esta subestación cuenta con un transformador de 2.5 MV.A con una sola salida e interruptores de la marca Reyroll y una regulación de voltaje de 34.5/4.16 kV. Su demanda máxima es de 1458 kV.A con una cargabilidad de 58 % (Ver Anexo #9).

### **Subestación Caonao 13 kV.**

Esta subestación está situada en la parte Sur de Caonao y pertenece al área de La Ceiba, se construyó con el objetivo de convertir el circuito 8 (Caonao 4 kV). Asimiló parte de la carga del circuito 26 que se encuentra cerca de ella y muy distante de la Sub Lagunillas del cual se alimenta el circuito 26. Esta subestación cuenta con un transformador de 2500 kV.A y presenta una regulación de voltaje de 34.5/13.8 kV. Su demanda máxima es de 1536 kV.A con una cargabilidad de 61%.(Ver Anexo #10)

Como se puede ver, en estos momentos en la ciudad no existen subestaciones sobrecargadas ya que por la parte del departamento de subestaciones como medida de la Revolución Energética se han rehabilitado las subestaciones y también el proceso de conversión ha hecho esto posible.

### **1.1.2 Análisis de las características de cada circuito de la ciudad de Cienfuegos.**

La distribución primaria recibe la energía de la subestación y en su recorrido la traspasa directamente a los consumidores medianos como lo son talleres, comercios, fábricas, etc., y a los consumidores pequeños como residenciales a través de la distribución secundaria. [2]

En el análisis de los circuitos que presenta la ciudad solo se tuvo en cuenta datos que se consideran imprescindibles para el desarrollo del estudio de la red. Esta recopilación se realizó con un celaje por cada circuito especificando las características de sus estructuras, tipo de conductores, banco de transformadores y capacitores.

Todos los circuitos analizados presentan una configuración radial, o sea, reciben suministro energético desde un solo punto. Sus ventajas se basan en su bajo costo de instalación y la simplicidad de su operación. Dicha configuración ha sido elaborada a lo largo de las calles, facilitando el acceso a las estructuras. Las desventajas que presentan los sistemas radiales son: su pobre regulación de voltaje y su poca confiabilidad, ya que al estar alimentado por un solo punto, cualquier falla en la línea deja sin servicio a todos los consumidores del mismo. [2]

En los celajes realizados se comprobó que muchos de ellos están unidos entre sí a través de cuchillas e interruptores en aire lo cual le da a cada circuito un respaldo ante cualquier avería en la subtransmisión, así como ante mantenimientos o mejoras de las redes. La ciudad está constituida por un total de 164 km de líneas operando a 13.8 kV, tenemos 85 km para un 52% y a 4.16 kV existen 79 km para un 48 %. Es importante destacar que alrededor de un 40% de las estructuras de los circuitos que se encuentran calientes a 4.16 kV están diseñadas para voltajes de 13.8 kV lo cual significa un ahorro sustancial para una conversión futura de estas líneas a 13.8 kV. En cuanto a la capacidad instalada tenemos un total de 2153 transformadores instalados, esto nos arroja un resultado de 87 MV.A instalados para alimentar la demanda de la ciudad. De estos transformadores, 971 operan con un voltaje de 4.16 kV y 1182 operan a 13.8 kV.

### **Circuito 1**

Este circuito es alimentado desde la subestación Cfgos 4 kV, expandiéndose por 3.337 km de líneas, su tronco está construido con conductores del tipo cobre # 3/0 y en sus ramales predomina el cobre # 2 y cobre # 6. En él se observa que la carga predominante es residencial aunque contiene algunas cargas importantes como lo son el Hotel del Ferrocarril y la Piscina Olímpica, sustentado por un total de 37 transformadores que totalizan 1615 kV.A instalados. El circuito tiene una demanda máxima de 1309 kV.A y una cargabilidad de 81%.

Tabla # 1: Cantidad de transformadores del Cto 1.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	Total
Cantidad	0	5	1	6	4	14	6	1	37
kV.A Inst.	0	50	15	150	150	700	450	100	1615

### **Circuito 2**

El circuito 2 se caracteriza por ser uno de los más pequeños que existe en la localidad, con un recorrido de sus líneas de 2.9 km con conductores de cobre # 3/0 predominantemente. Su carga sobresaliente es residencial aunque presta servicio a instituciones como: Etecsa, un Comedor Escolar, dos Dulcerías, una Panadería y varias escuelas, las cuales tienen una demanda a considerar. Este circuito está integrado por 31 transformadores que representan 1520 kV.A instalados. Su máxima demanda es de 1133 kV.A para una cargabilidad de 75 %.

Tabla # 2: Cantidad de transformadores del Cto 2.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	75	100	Total
Cantidad	1	4	3	6	10	2	5	31
kV.A Inst.	10	60	75	225	500	150	500	1520

### **Circuito 3**

Suministra la energía eléctrica a la parte Centro Sur de la localidad, tiene como principal característica que su carga predominante es residencial. El circuito cuenta con un total de 45 transformadores con una regulación de voltaje de 33/4.16 kV, esto representa un total de

1657,5 kV.A instalados y la demanda máxima de las cargas es de 1369 kV.A con una cargabilidad de 83 %. Sus conductores son de cobre # 6, cobre # 2/0 en el tronco y en los ramales presenta mayormente cobre # 6 que recorren un total de 7.3 km de líneas.

Tabla # 3: Cantidad de transformadores del Cto 3.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	Total
Cantidad	1	4	5	7	9	17	1	1	45
kV.A Inst.	5	40	75	175	225	900	75	100	1658

#### **Circuito 4**

Con un recorrido de 3.9 km de líneas con cobre # 2/0 en el tronco y cobre # 6 en los ramales fundamentalmente, cuenta con 40 bancos de transformadores que constituyen 1864.5 kV.A instalados, el cual posee una demanda máxima de 292 kV.A, para una cargabilidad de 16 %. Este circuito alimenta cargas importantes como: la Sala Deportiva Frontón, el Banco de Sangre, la Emisora Radio Ciudad del Mar y centros recreativos como el Costa Sur. Esto afecta sus gráficos pues a pesar de tener carga residencial predominan las cargas antes mencionadas, que también coinciden con la cantidad de alumbrado que contiene.

Tabla # 4: Cantidad de transformadores del Cto 4.

kV.A Nominales	5	15	20	25	37,5	50	75	100	167	Total
Cantidad	1	4	1	12	1	13	3	4	1	40
kV.A Inst.	5	60	20	300	37,5	650	225	400	167	1865

#### **Circuito 5**

Este circuito es de gran importancia pues alimenta la zona del Boulevard, está constituida por grandes tiendas, almacenes, cafeterías, Coopelia; siendo éste un punto de gran movimiento turístico nacional e internacional y por consiguiente se convierte en uno de los circuitos más importantes de la ciudad. Alimentado desde la subestación Cienfuegos 4 kV cuenta con 65 bancos de transformadores que significan una carga instalada de 3784 kV.A y una demanda máxima de 1821 kV.A con una cargabilidad de 48 %. Sus líneas cuentan con conductores de cobre # 3/0 y cobre # 6 generalmente y un total de 2.88 km.

Tabla # 5: Cantidad de transformadores del Cto 5.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	75	100	167	630	Total
Cantidad	2	17	9	5	10	5	11	3	1	65
kV.A Inst.	20	255	225	188	500	375	1100	501	630	3784

### Circuito 7

Este circuito se alimenta desde la subestación de Pastorita y presta servicio a la zona residencial de O`Bourke, presenta 4.5 km de líneas compuestas por aluminio AAAC-158 mm<sup>2</sup> en el tronco, y para los ramales cobre # 6, generalmente. Su energía se distribuye mediante 81 bancos de transformadores con una capacidad instalada de 4882 kV.A, la demanda máxima es de 780 kV.A con una cargabilidad de 16 %.

Tabla # 6: Cantidad de transformadores del Cto 7.

kV.A Nominales.	5	10	15	25	37,5	50	75	100	167	250	630	Total
Cantidad	1	3	5	16	10	35	2	3	1	4	1	81
kV.A Inst.	5	30	75	400	375	1750	150	300	167	1000	630	4882

### Circuito 8

Ubicado al Norte de la localidad, sus gráficos de cargas lo definen como un circuito mayormente residencial, sin dejar de valorar la existencia de cargas importantes como lo son la Fábrica de Barquillos y la Escuela Militar “Camilo Cienfuegos”. La demanda máxima es de 1458 kV.A con una cargabilidad de 73 %, pues tiene en todo el circuito 64 transformadores ubicados lo que representa un total de 1993 kV.A instalados. Además sus líneas están constituidas de cobre # 1/0, cobre # 6 y cobre # 4 generalmente y recorren 8.12 km.

Tabla # 7: Cantidad de transformadores del Cto 8.

kV.A Nominales	3	5	10	15	25	37,5	50	167	Total
Cantidad	1	1	10	12	7	19	13	1	64
kV.A Inst.	3	5	100	180	175	712.5	650	167	1993

### **Circuito 17**

Caracterizado por una carga residencial es alimentado desde la subestación Junco Sur 110/13.8 kV. En la actualidad este lleva la carga del circuito 64 con el objetivo de brindarle mayor fiabilidad al hospital, consta de 3.2 km de líneas con conductores de cobre # 3/0 en el tronco y para los ramales conductores de cobre # 2 y aluminio AAAC-2/0 fundamentalmente. El mismo se extiende por la zona conocida como Arizona, su demanda máxima toma un valor de 1057 kV.A la cual es respaldada por 77 transformadores que representan una carga instalada de 4039 kV.A, para una cargabilidad del 26 %.

Tabla # 8: Cantidad de transformadores del Cto 17.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	100	225	333	Total
Cantidad	4	10	14	10	30	4	1	3	77
kV.A Inst.	40	150	350	375	1500	400	225	999	4039

### **Circuito 18**

Es otro de los circuitos que alimentan la zona de la Juanita, tiene 10.6 km de líneas con conductores de cobre # 3/0, cobre # 6 y cobre # 1/0, presenta cargas importantes como: la Fábrica de Conservas “Los Camilitos”, la Fábrica de Ron Cienfuegos, la Panadería Especial Arizona, pero a pesar de estas cargas su gráfico típico indica que es residencial. Su demanda máxima es de 3080 kV.A la cual está sustentada por 101 transformadores que representan una capacidad instalada de 4570 kV.A con una cargabilidad de 67 %.

Tabla # 9: Cantidad de transformadores del Cto 18.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	167	250	Total
Cantidad	1	6	15	10	23	37	4	1	1	3	101
kV.A Inst.	5	60	225	250	862.5	1850	300	100	167	750	4570

### **Circuito 19**

Alimentado desde la subestación Junco Sur 110/13.8 kV es considerado por los especialistas como uno de los circuitos más problemáticos que existen en la localidad. Además es uno de los más extensos con 17.4 km de líneas y conductores de cobre # 3/0, aluminio 70 mm<sup>2</sup> y

cobre # 6 fundamentalmente. Aunque alimenta cargas como la Escuela de Arte Benny Moré, es una zona predominantemente residencial con una demanda máxima de 4311 kV.A y es respaldada por 140 transformadores que equivalen a una carga instalada de 5507.5 kV.A, para una cargabilidad del 78 %. También presenta dos bancos de capacitores de 375 Ckvar los cuales se encontraban en perfecto estado técnico.

Tabla # 10: Cantidad de transformadores del Cto 19.

kV.A Nominales.	10	15	25	37,5	50	75	100	Total
Cantidad	11	9	20	35	59	4	2	140
kV.A Inst.	110	135	500	1313	2950	300	200	5507.5

### Circuito 20

Su fuente de alimentación proviene desde la subestación Plaza, tiene como dato curioso que asumió toda la carga que presentaba el circuito 16 dejando en la barra una salida libre para un posible respaldo o alimentación a otros circuitos. Ahora cuenta con 99 transformadores que significan 6078.5 kV.A instalados y recorren 7.9 km de líneas con cobre # 1/0 y cobre # 2 fundamentalmente por toda la parte Sur de la urbe, siendo uno de los circuitos priorizados con los que cuenta la localidad, ya que contiene una carga hotelera considerable, lo que hace que se introduzcan variaciones en su gráfico. Presenta una demanda máxima de 1750 kV.A lo que representa una cargabilidad del 29 %.

Tabla # 11: Cantidad de transformadores del Cto 20.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	63	75	100	333	630	Total
Cantidad	7	12	21	23	17	1	8	3	6	1	99
kV.A Inst.	70	180	525	862.5	850	63	600	300	1998	630	6079

### Circuito 65

Con un recorrido de 3.6 km de líneas con conductores de cobre # 3/0 y cobre # 6 principalmente, es uno de los circuitos de menor carga que existe en la ciudad alimentando una parte del Casco Histórico. Su fuente de alimentación proviene de la barra de Reina y como carga importante solo presenta unos talleres pequeños de Cubalse. Con este circuito desde la Sub Cfgos 4 kV se

alimenta el Cto 66 a través de la barra de la subestación Reina. En general su energía es suministrada por 40 bancos de transformadores que representan una carga instalada de 1724,5 kV.A, con una demanda máxima de 663 kV.A para una cargabilidad de 38 %.

Tabla # 12: Cantidad de transformadores del Cto 65.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	167	Total
Cantidad	1	5	6	5	3	14	1	4	1	40
kV.A Inst.	5	50	90	125	112.5	700	75	400	167	1724.5

### **Circuito 66**

Con una longitud actual de 7.3 km de líneas está formado por conductores de cobre # 3/0, cobre # 2 y cobre # 6 principalmente, ubicado en la zona conocida como Reina. Es uno de los circuitos que más carga ha perdido en los últimos tres a cuatro años, pues la posición geográfica y socioeconómica de la zona trajo consigo el desmontaje de fábricas y almacenes que se veían seriamente afectados ante situaciones climatológicas de gran envergadura y en su lugar se construyen viviendas y escuelas, viéndose un cambio en los gráficos de carga. Aunque debe observarse que todavía existen cargas importantes como lo es el Teatro “Tomás Terry” y varios talleres. Este circuito tiene instalado 87 transformadores que implican una carga instalada de 3859 KV.A con una demanda máxima de 2247 kV.A y una cargabilidad de 58%. Cuenta con un banco de capacitores de 300 Ckvar que en los momentos del estudio se encontraba fuera de servicio por problemas técnicos, lo cual se tuvo en cuenta para el mismo.

Tabla # 13: Cantidad de transformadores del Cto 66.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	167	Total
Cantidad	3	7	11	14	12	30	5	3	2	87
kV.A Inst.	15	70	165	350	450	1500	375	300	334	3859

### **Circuito 67**

Se expande con 6.7 km de conductores de aluminio 70 mm<sup>2</sup> y aluminio 35 mm<sup>2</sup>, suministra energía a los consumidores de la zona Norte de Pastorita donde existen cargas de gran influencia en el grafico típico de este circuito como lo son la Universidad “Carlos Rafael Rodríguez”, la fábrica de espejos Luna Sur y varios talleres de importancia. Esta carga es sustentada por 96

transformadores que tienen 3558.5 kV.A instalados y suplen una demanda máxima de 1117 kV.A lo que nos da una cargabilidad de 31 %.

Tabla # 14: Cantidad de transformadores del Cto 67.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	167	Total
Cantidad	4	8	23	21	17	10	2	8	3	96
kV.A Inst.	20	80	345	525	637,5	500	150	800	501	3559

### **Circuito 69**

Se alimenta desde la barra Junco Sur 110/13.8 kV. En el proceso de construcción y montaje de la Subestación Junco Sur 110 kV dicho circuito era alimentado a través del circuito 20 desde la Subestación Plaza. Recorre una parte del reparto Junco Sur mediante 6.16 km de líneas con conductores mayormente de tipo cobre # 3/0 y cobre # 2. Su gráfico es típico residencial, donde la máxima demanda es de 1365 kV.A. Este circuito cuenta con 64 transformadores que equivalen a 2311 kV.A lo que constituye una cargabilidad del 59 %. Además presenta un banco de capacitores de 300 Ckvar que en el momento del estudio se encontraba fuera de servicio por problemas técnicos, pero se consideró a la hora de realizar el estudio en el radial.

Tabla # 15: Cantidad de transformadores del Cto 69.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	63	75	100	Total
Cantidad	3	12	14	16	11	2	5	1	64
kV.A Inst.	30	180	350	600	550	126	375	100	2311

### **Circuito 76**

Este circuito recorre 14.3 km con conductores de cobre # 6, aluminio 150 mm<sup>2</sup> y aluminio 35 mm<sup>2</sup>, con un gráfico atípico pues es una zona donde existen varias oficinas de servicios para la población: tintorerías, bombeo de agua para la ciudad, entre otras cargas significativas. Todo esto es respaldado por 46 transformadores que corresponden a 1587.5 kV.A instalados, con una máxima demanda de 824 kV.A, se obtiene una cargabilidad del 52 %.

Tabla # 16: Cantidad de transformadores del Cto 76.

kV.A Nominales	5	7,5	10	15	25	37,5	50	100	Total
Cantidad	1	1	1	11	14	4	10	4	46
kV.A Inst.	5	7,5	10	165	350	150	500	400	1588

### **Circuito 79**

Alimentado desde la barra de San Lázaro presenta 4.9 km de líneas con conductores de cobre # 3/0 en el tronco y en los ramales aluminio 6 mm<sup>2</sup> y cobre # 6. El mismo comprende la zona de la Calzada de Dolores con cargas significativas como lo son los Talleres del Ferrocarril, Fabrica de Hielo, Policlínico Cruz Roja y algunas panaderías y tiendas pero su carga predominante es residencial. Presenta una máxima demanda de 2167 kV.A lo cual es respaldado por 57 transformadores que representan una carga instalada de 2422.5 kV.A con una cargabilidad de 89 %. Además cuentan con 2 bancos de capacitores de 225 Ckvar cada uno, encontrándose estos en perfectas condiciones técnicas.

Tabla # 17: Cantidad de transformadores del Cto 79.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	75	100	Total
Cantidad	2	4	4	5	13	22	4	3	57
kV.A Inst.	10	40	60	125	487.5	1100	300	300	2422.5

### **Circuito 80**

Alimentando la zona de Punta Cotica toma su energía desde la subestación de San Lázaro y recorre unos 3.1 km de líneas con cobre # 3/0 y cobre # 6 generalmente. Durante el trayecto sustenta cargas como la Fábrica de Fideos con poca actividad en los últimos tiempos, además alimenta escuelas y tiendas de poca demanda. Este circuito cuenta con 2 bancos de capacitores de 300 Ckvar y 43 transformadores que representa una carga instalada de 1938 kV.A, su máxima demanda es de 1179 kV.A, con una cargabilidad de 61 %.

Tabla # 18: Cantidad de transformadores del Cto 80.

kV.A Nominales	5	7,5	10	15	25	37,5	50	63	75	100	Total
Cantidad	0	1	2	3	7	3	21	1	1	4	43
kV.A Inst.	0	7,5	20	45	175	102.5	1050	63	75	400	1938

### Circuito 81

Alimentado desde la barra ubicada en San Lázaro y con una longitud de 3.6 km de líneas, se extiende alimentando cargas residenciales y estatales por todo el centro de la ciudad con conductores de cobre # 3/0 y cobre # 6, principalmente. Su estudio nos muestra un gráfico de carga residencial, con una demanda máxima que alcanza un valor de 1675 kV.A que son transferidos desde 66 transformadores que equivalen a 3429 kV.A de potencia instalada y una cargabilidad del 49 %. Cuenta con dos bancos de capacitores de 300 Ckvar que están en perfectas condiciones técnicas.

Tabla # 19: Cantidad de transformadores del Cto 81.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	40	50	75	100	167	Total
Cantidad	1	8	3	5	8	1	23	6	9	2	66
kV.A Inst.	5	80	45	125	300	40	1150	450	900	334	3429

### Circuito 90

Este circuito toma su energía desde la Sub Caonao 13 kV y tiene una longitud de 12.7 km, llegando hasta La Ceiba a la cual antiguamente se le suministraba la energía desde el Cto 26. Una vez que se construye esta subestación se pasa parte de la carga de este circuito para el Cto 90. El mismo consta con 89 transformadores que equivalen a 3037.5 kV.A instalados, este circuito tiene una demanda de 1536 kV.A y una cargabilidad de 51 %.

Tabla # 20: Cantidad de transformadores del Cto 90.

kV.A Nominales	5	10	15	25	37,5	50	Total
Cantidad	1	5	8	25	21	29	89
kV.A Inst.	5	50	120	625	787.5	1450	3037.5

### **Circuito 91**

Recientemente separado del anterior circuito 13 toma su energía desde la nueva Sub Pueblo Griffó 34.5/13.8 kV y se extiende por toda la zona de Buena Vista con un recorrido de 6.2 km de conductores de aluminio 70 mm<sup>2</sup> en el tronco y cobre # 1/0 para los ramales fundamentalmente. Su demanda máxima tiene un valor de 2238 kV.A, la cual es respaldada por 84 transformadores que equivalen a 3230 kV.A instalados, teniendo una cargabilidad de 69 %.

Tabla # 21: Cantidad de transformadores del Cto 91.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	75	160	Total
Cantidad	5	8	18	18	31	3	1	84
kV.A Inst.	50	120	450	675	1550	225	160	3230

### **Circuito 92**

Con una carga puramente residencial suministra energía a la zona edificada de Pueblo Griffó la cual presenta una demanda máxima de 2611 kV.A sustentada por 87 transformadores que equivalen a una carga instalada de 3475 kV.A y una cargabilidad de 75 %, las líneas están compuestas por conductores de aluminio 70 mm<sup>2</sup> para el tronco y cobre # 2 para los ramales fundamentalmente, estas líneas se expanden a lo largo de 10.6 km.

Tabla # 22: Cantidad de transformadores del Cto 92.

kV.A Nominales	10	15	25	37,5	50	350	Total
Cantidad	5	10	16	18	37	1	87
kV.A Inst.	50	150	400	675	1850	350	3475

### **Circuito 93**

El circuito 93 alimenta la parte norte de la ciudad con cargas importantes como los almacenes de Tiendas Mayoristas y los del Cimex, Poligráfico y otras cargas importantes lo que nos da como resultado un gráfico puramente industrial. El mismo en la actualidad está formado por 10.3 km de líneas con conductores de aluminio 35 mm<sup>2</sup> y aluminio de 70 mm<sup>2</sup>. Sus cargas son alimentadas por 97 bancos de transformadores que representan una potencia instalada de 3959 kV.A con una cargabilidad de 46 % y una demanda máxima de 1804 kV.A.

Tabla # 23: Cantidad de transformadores del Cto 93.

kV.A Nominales	7,5	10	15	25	37,5	50	63	75	100	Total
Cantidad	1	5	10	19	26	22	2	5	7	97
kV.A Inst.	7,5	50	150	475	975	1100	126	375	700	3959

### 1.1.3 Principales problemas que afectan la red de distribución primaria en la localidad.

- ✓ La subestación 110/34.5 kV ubicada en la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes, está sobrecargada y no admite más carga.
- ✓ La poca existencia de respaldo entre las barras en caso de la existencia de averías.
- ✓ La situación que presentan los circuitos que operan a 4.16 kV en cuanto al deterioro de sus componentes y la poca asimilación de nuevas cargas.
- ✓ Cambio o restitución del neutro, ya que presenta un alto grado de deterioro.
- ✓ Necesidades de conectores AMPAC para sellar los puentes.

### 1.2 La utilización del software Radial 7.7 como pieza fundamental en el estudio de la ciudad de Cienfuegos.

Para poder realizar un uso eficiente del Radial 7.7 fue imprescindible la actualización de sus bibliotecas conociendo detalladamente el estado en que se encontraban las cargas y circuitos localizados en la zona de nuestro estudio, lo que es fundamental en la programación del futuro desarrollo del sistema garantizando estabilidad y fiabilidad, apoyándonos en las lecturas de los interruptores tipo Nulec para la obtención de datos como la potencia activa (P), reactiva (Q), aparente (S), factor de potencia (f.p), corriente (I) y voltaje (V), obteniendo como resultado las gráficas durante un período determinado ya que el comportamiento de la energía demandada es muy inestable durante el día.

Para la puesta en marcha de este software se tuvieron primeramente que realizar varias observaciones como lo fueron:

- ✓ La familiarización con la red de distribución de la ciudad de Cienfuegos, la actualización de calibre de conductores, tipos de transformadores, sus ubicaciones y capacidades demandadas e instaladas.

- ✓ La familiarización, interpretación, y actualización de los monolineales pertenecientes a la ciudad de Cienfuegos.
- ✓ Actualización de las características de cargas con la ayuda de las lecturas realizadas a los {Nulec}.
- ✓ Actualización de las bibliotecas y ficheros para el Radial 7.7 con los datos obtenidos según las cargas, tipo y distancia de los conductores.

### **1.2.1 Método para la obtención de pérdidas en el Radial 7.7**

Para un mejor aprovechamiento y fiabilidad en la utilización del software Radial 7.7 se analizaron y modificaron varios aspectos en la metodología planteada en la tesis de Vladimir Sousa Santos (2004: p18). Pues como es sabido el Radial nos brinda el resultado de las pérdidas de energía en un día, por tanto para obtener las pérdidas en un año se plantea en esta investigación el siguiente método aproximado.

Comenzamos realizando un chequeo profundo del comportamiento de las cargas de cada circuito ya que los ficheros del Radial 7.7 tienen como datos las gráficas de cargas en sus días típicos, las cuales difieren mucho del comportamiento de la carga actual influenciada por el implemento de las cocinas eléctricas en los hogares también se han visto modificada el comportamiento de las cargas industriales ya que al tomar medidas para disminuir el consumo eléctrico se ha desplazado su hora de máxima demanda. Por ejemplo una residencia presenta dos gráficos característicos uno es para la semana y otro para el fin de semana, estos solo se diferencian en el pico eléctrico el cual se desplaza un poco hacia el horario del almuerzo. Otras cargas comunes son los centros de trabajo y comercios e industrias los cuales presentan gráficos muy parecidos que varían diariamente según se comporten la fluencia de personal y de público.

Por lo tanto, después de un estudio se observó el comportamiento de las cargas y como resultado se decidió obtener las pérdidas en un año al multiplicar las mismas por 365 días. Se puede decir que es un método menos preciso, ya que nos brinda una idea un poco sobredimensionada del tamaño de las pérdidas, que como es sabido no se comportan igual todos los días dependiendo de muchos factores.

### **1.2.2 Estimación del crecimiento vegetativo.**

El transcurso de un año a otro lleva consigo un crecimiento vegetativo, que para este trabajo se aplicó de la siguiente forma: 1% para las cargas comerciales, 3% para las cargas residenciales y 3% para las cargas mixtas como industrias y centros de trabajo se escoge este crecimiento medio producto a la situación futura que se prevee para la ciudad de Cienfuegos con el desarrollo petrolero.

### **1.2.3 Horarios de demanda máxima y tipo de gráficos.**

Luego de un proceso de estudio y análisis del comportamiento de las cargas se obtuvo una caracterización del tipo de gráfico de cada uno de los circuitos, además con la ayuda de los Nulec y otros métodos de medición se pudieron confeccionar una serie de gráficos característicos de cada circuitos o tipo de carga, que fueron utilizados para la actualización de las bibliotecas del Radial 7.7, ya que cada circuitos en particular tiene una demanda diferente y un horario de máxima demanda que no todos los días se comporta igual. Los estudio de algunos de estos circuitos presentaron serias dificultades a la hora de realizar las mediciones ya que no siempre es posible conocer la potencia demanda de cada carga, pues la ausencia de instrumentos de medición en cada banco es clara y justificada, ya que su colocación de forma permanente no sería económico. Con el propósito de definir el comportamiento de la energía demandada por cada tipo de consumidor, la realización de mediciones en un período de tiempo determinado en los alimentadores de cargas típicas, es el método más efectivo para alcanzar una mayor veracidad en la clasificación de las cargas.

Tabla # 24: Tipos de gráficos y horarios de máxima demanda según estudios actuales.

<b>Ctos</b>	<b>Máxima Demanda.</b>	<b>Tipo de Gráfico</b>
<b>1</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>2</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>3</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>4</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>5</b>	12:00 AM - 14:00 PM	Comercial
<b>7</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Industrial-Residencial
<b>67</b>	9:00 AM - 11:00 AM	Universidad
<b>76</b>	8:00 AM - 10:00 AM	Bombeo y servicios
<b>17</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>18</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>19</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>69</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>20</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Hoteles y Servicios
<b>64</b>	9:00 AM - 11:00 AM	Zona hospitalaria
<b>65</b>	10:00 AM - 12:00 PM	Servicios
<b>66</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>79</b>	7:00 PM - 9:00 PM	Residencial
<b>80</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>81</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial-Comercial
<b>93</b>	9:00 AM - 11:00 AM	Industrial
<b>91</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>92</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Residencial
<b>8</b>	6:00 PM - 8:00 PM	Servicio-Residencial

## **Capítulo II: Reconfiguración de las redes de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos.**

---

Una gran importancia reviste la puesta en marcha de las subestaciones 110/13.8 kV para la Empresa Eléctrica de Cienfuegos, pues siguiendo con la política del país, esta traerá consigo una reducción de las pérdidas aumentando la fiabilidad y la calidad del servicio eléctrico a los habitantes de nuestra ciudad. Además de ayudar a aliviar la Subestación CMC 110/34.5 kV la cual presenta grandes problemas de cargabilidad trabajando casi a un 96.6 %. También se prevé que en los próximos años en la ciudad exista un incremento de las cargas industriales a las cuales se brindará servicio con líneas de 34.5 kV. Se debe señalar que este estudio se dividió por etapas partiendo desde la Etapa 0, la cual describe la situación actual de los circuitos y las subestaciones de la urbe hasta la Etapa 3, en la cual quedará planteada la configuración definitiva de la red a 13 kV, con 2 alimentadores 110/13.8 kV y uno 33/13.8 kV.

En Cienfuegos las redes de distribución no han recibido la misma dedicación y estudio que en otras partes o secciones que conforman los sistemas electroenergéticos como las plantas generadoras y las líneas de transmisión, debido a que su estructura no tiene el mismo grado de complejidad y las soluciones a los problemas se pueden materializar en una forma menos rigurosa y teniendo en cuenta que la potencia que manipula un circuito aislado es pequeña, comparada con el de una línea de transmisión, sin detenerse a pensar que en su conjunto, los circuitos de distribución constituyen un eslabón fundamental en la compleja cadena existente para lograr hacer llegar la indispensable energía eléctrica a todos los rincones del país. Sea cual fuere la causa, sin embargo, hay dos hechos incuestionables:

- ✓ En las redes de distribución se acumulan inversiones sólo superadas por las de las plantas generadoras.
- ✓ En ellas se producen las mayores pérdidas del sistema, lo que justifica ampliamente la dedicación rigurosa al tema. [3]

### **2.1 Aspectos fundamentales para la reconfiguración de una red de distribución primaria.**

Siendo consecuente con el aspecto del ahorro de energía en las líneas de distribución primaria, existen diferentes aspectos donde es posible lograr beneficios sustanciales con un adecuado

enfoque y tratamiento de las causas que originan dichas pérdidas por eso en este capítulo se realizó un análisis de la reconfiguración de los circuitos de la ciudad de Cienfuegos tomando en cuenta aspectos tales como:

- ✓ Cálculos de los voltajes en las cargas.
- ✓ Cálculos de las pérdidas de potencia en la hora pico.
- ✓ Reubicación de los transformadores entre las fases de los circuitos para balancearlas y la cuantificación del ahorro de energía por esta operación.
- ✓ Selección de las fases para la instalación de nuevas cargas, manteniendo los circuitos balanceados.
- ✓ Valoración técnica por el cambio de calibres.
- ✓ Reubicación de bancos de capacitores ya existentes.
- ✓ Selección y ubicación de bancos de capacitores fijos.
- ✓ Diseño de un circuito radial (selección de la ruta y los calibres).

Comenzando con un análisis de la situación actual de las redes en Cienfuegos, se proyectó este estudio para la realización de las mejoras o variantes de remodelación, partiendo del principio del máximo aprovechamiento de las instalaciones ya existentes, las que no serán desechadas sino que serán utilizadas como puntos de seccionamientos, en el caso de que las ventajas de las nuevas propuestas económicamente justificadas fueran favorables.

### **2.1.1 Reconfiguración de un circuito de distribución primaria.**

En la reconfiguración de un circuito de cualquier tipo de una ciudad se deben tener en cuenta varios aspectos, donde sobresalen a simple vista la correcta valoración técnica económica del proyecto, la cual debe ser favorable adecuándose a las condiciones financieras de la empresa y a los problemas de la urbe brindando una máxima fiabilidad al sistema.

En la actualidad no existe una fórmula matemática general para la selección de la vía más factible que debe presentar la red, es por esto que los estudios se llevan a cabo con la ayuda de software como el Radial 7.7, empleándose los métodos de comparación de las variantes donde prevalecerá la red que mejor se ajuste a los requerimientos exigidos. Recalcando que en las soluciones obtenidas se tendrá que aprovechar lo más posible las instalaciones y equipamientos de la antigua red.

La evaluación del número de consumidores que pueden quedar sin servicio debido a la caída de voltaje o el nivel de pérdidas es el criterio que debe primar para la determinación de la longitud de los circuitos aéreos de distribución primaria y las cargas máximas por circuito.

En muchos casos, cuando no se posee la suficiente información sobre las perspectivas de desarrollo de una zona, no se aconseja un nivel de voltaje superior. Una estrategia correcta pudiera ser 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.

Para un correcto análisis de la red se debe tener en cuenta además el incremento de la carga si esta fuera previsible o se ha pronosticado ya un incremento de la carga futura en una zona o área determinada el alimentador debe diseñarse desde un inicio de manera tal que su capacidad pueda ser incrementada posteriormente mediante uno de los siguientes métodos: [3]

- ✓ Sustitución de los transformadores existentes por otros de mayor capacidad o la conexión en paralelo de otros similares a los ya conectados, siempre que los alimentadores estén diseñados para soportar las nuevas corrientes.
- ✓ División de los circuitos alimentados mediante la construcción de nuevas barras y traspaso de carga a las mismas.

Cuando la solución prevista para el incremento de capacidad es la sustitución de transformadores existentes por otros de mayor capacidad, la conexión de otros en paralelo es generalmente lo más recomendable. Además al instalar los transformadores se debe estudiar desde un inicio los alimentadores requeridos para la máxima carga esperada. La sustitución de dichos alimentadores existentes por otros de mayor calibre es un procedimiento muy costoso y que debe evitarse.

Si la solución prevista para posibles incrementos de la carga en el sistema transformador - alimentador es la división de los circuitos mediante la instalación de transformadores en nuevas barras, la configuración original de la red de subtransmisión deberá ser tal que pueda ser dividida en secciones lógicas cuando las nuevas barras sean construidas. [4]

### **2.1.2 Balance de carga en las redes de distribución primaria.**

Disponer las cargas de los circuitos trifásicos balanceadas, significa alcanzar niveles similares de potencias distribuidas entre sus fases, que representan más eficiencia en el sistema eléctrico.

El balance de la carga en un circuito primario es de suma importancia para el eficiente y fiable funcionamiento de la red, este punto resulta uno de los más importantes y difíciles de concebir pues es casi imposible mantener las corrientes por las tres fases iguales entre si en todo momento a lo largo de todo el circuito, aún si los transformadores fueran iguales, El uso casi global en nuestra ciudad de los transformadores monofásicos hace que la situación sea más difícil, por lo que se tendrá como objetivo la distribución de la corriente lo más posible entre las tres fases trasladando transformadores de las fases más cargadas a las menos cargadas, lo que nos da como resultado un mejoramiento del voltaje y una reducción sustancial de las pérdidas.

Para llevar a cabo el balanceo de un circuito, se han establecido las consideraciones siguientes:

- ✓ La potencia activa y reactiva de cada carga se distribuye en forma proporcional a la potencia de los transformadores que forman el banco, los que a su vez están conectados a diferentes fases.
- ✓ El balance se lleva a cabo por secciones del circuito, comenzando por la penúltima, para lo cual se analiza el efecto de la carga al rotarla por las tres fases buscando que las corrientes sean lo más iguales posibles entre sí en dicho tramo, la cuantificación del balanceo se realiza mediante la valoración de coeficientes que reflejan el grado de igualdad de las corrientes en las tres fases. [3]

Según técnicos de la OBE de Cienfuegos se ha demostrado que este trabajo es altamente beneficioso desde el punto de vista energético, ya que se obtienen apreciables ahorros sin necesidad de realizar inversiones en los circuitos.

### 2.1.3 Compensación de potencia reactiva en los circuitos de distribución primaria.

En cualquier sistema eléctrico la forma más simple, técnica económica y viable para disminuir la potencia reactiva es la ubicación o reubicación de los bancos de capacitores pero para esto se deben tener en cuenta varios aspectos como el lugar de su ubicación, la capacidad a instalar y la forma de operación (fijos o controlados), en caso de controlados se debe tener en cuenta el tiempo.

En el estudio de la ubicación correcta de los capacitores debe tenerse en cuenta que es en el tronco donde se producen las mayores pérdidas por lo cual se debe evaluar en cada tramo o ramal del circuito. Siempre debe prevalecer el criterio general de que “un banco de una magnitud dada debe colocarse donde la potencia reactiva del circuito sea igual a la mitad de la capacidad de dicho banco”, o sea donde se cumpla que:

$$Q = \frac{1}{2} Q_c$$

El fraccionamiento de la capacidad a instalar presenta tendencias contradictorias ya que por un lado incrementa el ahorro de energía en tanto que por el otro aumentan los gastos de las instalaciones, por lo que resulta evidente que tanto el número de bancos como su capacidad se debe seleccionar de acuerdo a los resultados que se obtienen de la evaluación de la función objetivo tomando como variable independiente los valores comerciales de capacitores disponibles en diferentes capacidades.

Para el estudio del problema planteado se deben valorar, por tanto, los aspectos siguientes:

- ✓ Beneficios alcanzados con la instalación de los capacitores (ahorro de energía y reducción de pérdidas de potencia en el horario de máxima demanda), en forma de uno o varios bancos de diferentes capacidades, los que, lógicamente han sido ubicados en su lugar óptimo.
- ✓ Gastos necesarios para realizar las instalaciones, se dividen en dos grupos: los capacitores propiamente dichos, y los equipos y dispositivos complementarios (herrajes, protección, equipos de desconexión, mano de obra, transporte, etc.).

La solución del problema planteado da como respuesta los gastos y beneficios para cada variante de compensación de potencia reactiva, de cuyos resultados se pueden tomar las decisiones correspondientes en función de los objetivos que se busquen.

#### **2.1.4 Crecimiento de las cargas.**

Cada año surgen nuevos usos y nuevos usuarios de la energía eléctrica que ocasionan incrementos continuos en la demanda, un crecimiento anual del 7% obliga a que cada 10 años deba duplicarse la generación existente, así como la ampliación proporcional en líneas a todos los niveles y subestaciones. La importancia del conocimiento de la demanda futura, es de vital importancia para poder brindar el servicio adecuado en el momento que se necesite y hacer frente a la demanda estimada. Por lo que se requiere realizar un conocimiento previo de las nuevas instalaciones industriales, comerciales, deportivas, residenciales y agrícolas que requieran suministros energéticos en el plazo estudiado. Las variaciones cronológicas de las cargas, su traslado a zonas no previstas, la eliminación de obras planificadas o la inclusión de otras inicialmente no contempladas son algunas de las principales incidencias que se deben tener en cuenta a la hora de la ejecución de un estudio como este. [1]

Cada subestación y más particularmente un circuito de distribución experimenta cada año un crecimiento de la demanda máxima, que viene dado por el desarrollo que alcance la zona y por la política que se lleve a cabo en lo concerniente al ahorro de energía, que convenientemente analizado puede servir de guía para el estudio de la demanda futura.

#### **2.1.5 Caracterización de un sistema de distribución según la carga que alimenta.**

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. La clasificación de los sistemas de distribución dependen 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: industriales, comerciales, urbana, rural. [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.
- ✓ **Sistemas de distribución comerciales:** 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.
- ✓ **Sistemas de distribución urbana:** Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeñas. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.
- ✓ **Sistemas de distribución rural:** Estos sistemas de distribución 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 costo del kW.h consumido. En muchos casos es 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.

## **2.2 Nueva reconfiguración de las redes de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos.**

### **2.2.1 Subestaciones 110/13.8 kV en Cienfuegos**

La ejecución y puesta en marcha de la subestación 110/13.8 kV resulta muy beneficiosa partiendo de la idea que:

- ✓ Ayuda a aliviar la gran cargabilidad (96.6 %) que presenta la subestación 110/34.5 kV ubicada en la termoeléctrica.
- ✓ Elimina la doble transformación de 110/34.5 y 34.5/13.8 kV. Disminuyéndose así las pérdidas en transformación, o sea se pasa del nivel de transmisión al de distribución.

Para el análisis y estudio de la configuración definitiva de los circuitos se dividirá esta investigación en 4 etapas. A continuación mostramos una tabla que nos muestra como se encuentra concebida la secuencia a seguir tanto para la ejecución de la obra como para el desarrollo del tema que se aborda.

Tabla # 25: Estructuración del desarrollo de la conversión por Etapas.

<b>Año</b>	<b>Subestaciones convertidas</b>	<b>Etapas</b>
2010	Situación actual	0
2010	Pastorita, Pueblo Griffó y Sán Lázaro	1
2011	Cienfuegos 4 kV	2
2012	Reina, Caonao 4 y 13 kV	3

Debemos tener en cuenta una serie de parámetros que nos garanticen una explotación adecuada de la obra que se realiza atendiendo con las especificaciones técnicas, ellos son:

- ✓ Los alimentadores de cada circuito no deberán sobrepasar los 5 MV.A de carga en condiciones normales de operación
- ✓ Los circuitos no excederán una longitud de 15 km aproximadamente.
- ✓ Los parámetros de caída de voltajes deberán encontrarse dentro de los valores permisibles según la norma establecida.
- ✓ La cargas priorizadas como los hospitales deberán tener una doble alimentación para brindar servicio ante alguna emergencia.[3]

### **2.2.2 Estudio y resultados de la Etapa 0.**

La siguiente etapa comprende el inicio de esta investigación, en la cual no se efectuarán cambios en la configuración de la red actual de Cienfuegos (Ver Anexo #1), es decir los circuitos se seguirán alimentando desde el mismo punto, los cambios que se acometerán serán producto a fallos técnicos ocurridos en el sistema que no se tendrán en cuenta dejando un margen de error por este asunto, pero que a la hora de llevar a cabo el proyecto deberán tenerse en cuenta.

Una característica muy peculiar que tiene nuestra ciudad es que las zonas industriales quedan a las afueras de de la misma, siendo los circuitos que alimentan estas cargas a 13 kV. Por otra parte el sector residencial (la Ciudad como tal) es alimentado por un voltaje de 4.16 kV. Esto limita de algún modo la obra ya que deben reconfigurarse los circuitos de manera tal que asuman mas carga que la que están llevando actualmente y deben quedar listos para que cuando estén montadas ambas subestaciones un circuito le pueda dar respaldo a otro.

Para la ejecución de este paso se hizo necesario realizar las corridas en el Radial 7.7 de todos los circuitos para una hora fija (19 horas) pues solo así se pueden comparar los indicadores energéticos ya que las máximas pérdidas de potencia no ocurren en todos los circuitos a la misma hora. La determinación del ahorro de pérdidas de potencia y energía se realizó mediante la comparación de cada variante respecto a la configuración actual de los circuitos sin convertir.

### Situación de la ciudad de Cienfuegos en la Etapa 0.

Tabla # 26: Datos actuales de las subestaciones y circuitos en la Etapa 0.

<b>Sub</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV Nom</b>	<b>Circuitos</b>	<b>Ckvar Inst.</b>	<b>kW Dem.</b>	<b>kvar Dem.</b>	<b>kV.A Dem.</b>	<b>f.p</b>	<b>L (km)</b>
Junco Sur	25000	13,8	17 18 19 69 76	525	9980	3330	10530	0,95	49
Plaza	4000	13,8	20	0	1694	441	1750	0,97	8
Pueblo Griffó	12600	13,8	91 92	300	5223	1502	5446	0,96	10
Cfgos 4 kV	8000	4,16	1 2 3 4 5	0	4580	1925	4968	0,92	20
Reina	4000	4,16	65 66	300	2596	903	2763	0,94	10
San Lázaro	6300	4,16	79 80 81	1500	5302	1344	5525	0,96	12
Pastorita	5000	4,16	7 67	0	1667	903	1896	0,88	27
Caonao 4kV	2500	4,16	8	0	1289	682	1458	0,88	3
Caonao 13kV	2500	13,8	90	150	1405	620	1536	0,91	5
<b>Totales</b>	<b>68100</b>			<b>2775</b>	<b>33736</b>	<b>11650</b>	<b>35872</b>		<b>144</b>

Tabla # 27: Datos actuales del nivel de pérdidas de potencia y energía en la Etapa 0.

<b>Subestaciones</b>	<b>PP (kW)</b>	<b>E(kWh)</b>	<b>PE (MW.h/año)</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV.A Dem</b>	<b>Cargabilidad (%)</b>
Junco Sur	242	2823	1030	25000	10530	42
Plaza	41	805	293	4000	1750	44
Pueblo Griffó	123	1951	712	12600	5446	43
Cfgos 4 kV	164	2446	893	8000	4968	62
Reina	120	1539	562	4000	2763	69
San Lázaro	313	3385	1236	6300	5525	88
Pastorita	70	1188	434	3200	1896	59
Caonao 4kV	86	655	239	2500	1458	58
Caonao 13kV	35	398	145	2500	1536	61
<b>Totales</b>	<b>1386</b>	<b>17039</b>	<b>6219</b>	<b>68100</b>	<b>35872</b>	

### 2.2.3 Puesta en marcha de la Etapa I

Esta etapa entró en vigor para a principios de febrero 2010 y abarcará el año completo. Durante este tiempo se instalará la segunda subestación 110/13.8 kV ubicada al Norte de la ciudad, en la zona industrial de Pueblo Griffó (Ver Anexo #11), la misma comenzará a dar servicio con 5 de las 6 salidas que están previstas, las cuales nombraremos de la siguiente forma:

- Circuito 101 (salida #1) alimentará Pueblo Griffó nuevo y una parte del antiguo circuito 93 (zona industrial).
- Circuito 102 (salida #2) es el circuito que alimentará el punto de distribución de la Sub San Lázaro y alimentará de forma provisional el circuito 2 de la Sub Cfgos 4 kV.
- Circuito 103 (salida #3) es el que alimenta el reparto Pastorita y O'Bourke.
- Circuito 104 (salida #4) alimentará la mayor parte del circuito 93 y asimilará el circuito 67, a este circuito se le instalará un NULEC en línea para asumir la carga del circuito 12.
- Circuito 105 (salida #5) línea de nueva construcción hasta el barrio La Esperanza a partir de ese punto asimilará la carga del circuito 8 (por convertir) y la del circuito 90.

- Circuito 106 (salida #6) tronco del circuito 93 hasta la Sub Pueblo Griffó la cual se convertirá en un punto de distribución y alimentará los circuitos 92 y 93.

La Etapa I tiene como objetivo la conversión del reparto Pastorita y la subestación San Lázaro (Ctos 79, 80 y 81). Hasta la fecha de confección de esta investigación ya se había convertido el 60% del circuito 7, quedando el resto para julio de este año, para poder convertir el barrio Pastorita fue necesario convertir la calle 63 que era la parte final del circuito 7 y construir un tramo de línea en la zona de Cocaleca y Circunvalación para unir el Cto 7 (Ramal Pastorita) al circuito 92 (Sub Pueblo Griffó) del cual se alimentará provisionalmente hasta que se construya y se caliente la salida # 3 de la nueva subestación 110/13.8 kV (de ahora en adelante nos referimos a ella como “**Sub Rusa**”).

La Sub San Lázaro se unirá a ella a través de una línea de nueva construcción por la Ave 74 para convertir los circuitos 80 y 81. Como el circuito 79 se convertirá desde el circuito 91 es necesario pasar la carga del barrio Pueblo Griffó nuevo que esta en este circuito para el circuito 93, una vez realizado estos trabajos se convertirá el barrio Pastorita desde el circuito 92. Seguidamente se comenzará a convertir el circuito 79 por la calle 6 ne desde el circuito 91. Paralelamente a estos trabajos se construirán 4 de las 6 salidas de la Sub Rusa, pues una ya se construyó para darle servicio de construcción a la misma desde el circuito 93 y la otra se construirá durante la Etapa 3. Concluida la conversión del circuito 79 las cargas de circuito 80 se pasarán para el circuito 65 (Sub Reina) y las cargas del circuito 81 para el circuito 4 (Sub Cfgos 4 kV) una vez hecho esto se comenzará a convertir el circuito 80 y después el 81.

### Situación de la ciudad de Cienfuegos en la Etapa I.

Tabla # 28: Datos de las subestaciones y circuitos en la Etapa I.

Sub	kV.A Inst.	kV Nom	Circuitos	Ckvar Inst.	kW Dem.	kvar Dem.	kV.A Dem.	f.p	L (km)
Junco Sur	25000	13,8	17 18 19 69 76	525	9726	3939	10493	0,95	50
Plaza	4000	13,8	20	0	1745	454	1803	0,97	11
Rusa	25000	13,8	101,102, 103,104,106	1350	10928	5015	12024	0,95	58
Cfgos 4 kV	8000	4,16	1 2 3 4 5	0	4717	1983	5117	0,92	18
Reina	4000	4,16	65 66	300	2783	1103	2993	0,96	10
Pastorita	3200	4,16	7 67	0	1468	776	1660	0,89	8
Caonao 4kV	2500	4,16	8	0	1328	702	1502	0,89	8
Caonao 13kV	2500	13,8	90	150	1447	638	1581	0,92	13
<b>Totales</b>	<b>74200</b>			<b>2325</b>	<b>34142</b>	<b>14610</b>	<b>37173</b>		<b>176</b>

Tabla # 29: Datos del nivel de pérdidas de potencia y energía en la Etapa I.

Sub	PP (kW)	E(kWh)	PE (MW.h/año)	kV.A Inst.	kV.A Dem	% Cargabilidad
Junco Sur	241	2855	1042	25000	10493	42%
Plaza	36	723	264	4000	1803	45%
Sub Rusa	339	5358	1956	25000	12024	48%
Cfgos 4 kV	149	2365	863	8000	5117	64%
Reina	105	1408	514	4000	2993	75%
Pastorita	49	824	301	3200	1660	52%
Caonao 4kv	80	683	249	2500	1502	60%
Caonao 13kv	37	411	150	2500	1581	63%
<b>Totales</b>	<b>1036</b>	<b>14627</b>	<b>5339</b>	<b>74200</b>	<b>37173</b>	

La tabla que se muestra a continuación nos muestra una comparación entre las dos primeras fases que analiza este estudio, se tomó para realizar la misma los valores de las pérdidas de potencia y energía.

Tabla # 30: Comparación entre las Etapas 0 y I.

<b>Etapas</b>	<b>PP (kW)</b>	<b>E(kWh)</b>	<b>PE (MW.h/año)</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV.A Dem</b>
<b>0</b>	1386	17039	6219	68100	35872
<b>I</b>	1036	14627	5339	74200	37173
<b>Total</b>	<b>350</b>	<b>2412</b>	<b>880</b>	<b>-6100</b>	<b>-1301</b>

Luego de analizar esta tabla pudimos percatarnos de que las pérdidas de potencia y las de energía disminuyeron, a pesar de que hubo un ligero aumento de la demanda y las cargas están más lejos del punto de alimentación. Esto solo se debe a la conversión a 13 kV de los circuitos que se analizaron en la Etapa I, puesto que no realizamos para el estudio cambios de calibre en los trancos, solo se construyeron 2 líneas nuevas con conductores AAAC-158 mm para alimentar San Lázaro y Pastorita. Podemos destacar que hubo un aumento en la capacidad instalada pues se instaló 1 transformador de 25 MV.A (110/13.8 kV), retirándose 2 de 6.3 MV.A (33/13.8 kV) y 1 de 6.3 MV.A (33/4.16 kV) pero en este estudio no se considera las pérdidas en el transformador ya que ellos se trató en un trabajo paralelo a esta investigación.

#### **2.2.4 Puesta en marcha de la Etapa II**

Ya para principios del 2011 se comenzará a ejecutar la conversión de la Sub Cfgos 4 kV (Ver Anexo # 12), para ello será necesario ir librando la carga de los circuitos que conforman esta subestación, los pasos a seguir serán los siguientes:

- El circuito 1 será asimilado por los circuitos 17 y 18 provenientes de la Sub Junco Sur (110/13.8 kV). El punto de unión con el circuito 18 será en Ave 56 y calle 55 hasta la calle 49, posteriormente se convertirá el ramal de la Ave 50 y el resto del circuito por la calle 49 desde el circuito 17.

- Para convertir el circuito 2 se abrirán puentes en Ave 64 y Calle 47, o sea, se retira esta sección del Circuito 91 y se alimenta del interruptor C-79 desde el punto de distribución San Lázaro.
- Para convertir el circuito 3 es necesario retirar el ramal que alimenta al Estadio 5 de Septiembre y pasarlo para el circuito 4 y esto es posible retirando los puentes vuelo al pájaro de Ave 32 y Calle 43 y cerrando la cuchilla W-0489 situada en 39 / 32 y 34. Este circuito se convierte desde el circuito 69 comenzando por Ave 16 y calle 59 hasta Cfgos 4 kV.
- El Circuito 4 se comenzará a convertir desde Ave-32 y calle 41 pasando a formar parte del circuito 20 (Sub plaza)
 

Nota: Es posible que estos trabajos se ejecuten en la Etapa I, pues una brigada de colaboradores franceses va a realizar trabajos preparatorios de conversión del Estadio 5 de Septiembre durante el mes de Junio-2010, que de quedar listo para convertirse el estadio solo se convertirá una sección del circuito 4.
- La carga del circuito 5 se pasará al transformador existente en terreno de la Sub Cfgos 4 kV que le daba servicio al Circuito 64, actualmente unido al Circuito 17. Se comenzará a convertir primeramente desde el circuito 80 en calle 33 y Ave 56 y después por la calle 35 y Ave 56, para esto es necesario construir un tramo de línea de 70 metros.

Una vez convertidos todos estos circuitos, se retirarán los 2 transformadores de 4 MVA (33/4.16 kV) y se instalarán los 2 de 6.3 MVA (33/13.8 kV) retirados de la Sub Pueblo Griffio y alimentarán los circuitos 1; 2; 3 (solo hasta Ave-30 y Calle 43, Sub Plaza) incluyendo al circuito 5.

## Situación de la ciudad de Cienfuegos en la Etapa II

Tabla # 31: Datos de las subestaciones y circuitos en la Etapa II

Sub	kV.A Inst.	kV	Circuitos	Ckvar Inst.	kW Dem.	kvar Dem.	kV.A Dem.	f.p	L (km)
Junco Sur	25000	13,8	17,18,19, 69,76	525	13346	4944	14232	0,94	50
Plaza	4000	13,8	20	0	2211	665	2309	0,96	11
Rusa	25000	13,8	101,102, 103, 104,106	1350	12430	5455	13574	0,94	58
Cfgos 13 kV	2500	13,8	5	0	1785	738	1932	0,93	18
Reina	4000	4,16	65,66	300	2356	927	2532	0,97	
Pastorita	5000	4,16	7,67	0	999	537	1134	0,89	8
Caonao 4kV	2500	4,16	8	0	1068	613	1231	0,89	8
Caonao 13kV	2500	13,8	90	150	1490	657	1628	0,92	13
<b>Totales</b>	<b>70500</b>			<b>2325</b>	<b>35685</b>	<b>14536</b>	<b>38573</b>		<b>166</b>

Tabla # 32: Datos del nivel de pérdidas de potencia y energía en la Etapa II.

Sub	PP (kW)	E(kWh)	PE (MW.h/año)	kV.A Inst.	kV.A Dem.	Cargabilidad (%)
Junco Sur	360	4352	1588	25000	14232	59
Plaza	47	914	334	4000	2309	58
Rusa	465	7085	2586	25000	13574	57
Cfgos 13 kV	149	517	189	2500	1932	77
Reina	111	1475	538	4000	2532	63
Pastorita	51	847	309	3200	1134	53
Caonao 4kv	35	714	261	2500	1231	62
Caonao 13kv	39	422	154	2500	1628	65
<b>Totales</b>	<b>1257</b>	<b>16326</b>	<b>5959</b>	<b>68700</b>	<b>38573</b>	

Tabla # 33: Comparación entre las Etapas I y II.

<b>Etapas</b>	<b>PP (kW)</b>	<b>E(kWh)</b>	<b>PE (MW.h/año)</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV.A Dem</b>
<b>I</b>	1036	14627	5339	74200	37173
<b>II</b>	1257	16326	5959	68700	38573
<b>Total</b>	<b>-221</b>	<b>-1699</b>	<b>-620</b>	<b>5500</b>	<b>-1400</b>

En la tabla mostrada anteriormente nos llama la atención de que la pérdidas de potencia y energía aumentan. Esto se debe a que la carga de la Sub Cfgos 4 kV está un poco alejada de las subestaciones que asimilan sus circuitos y por tanto las pérdidas en las líneas aumentan de manera considerable. Pero este factor no nos alarma porque la configuración que toman estos circuitos para llevar a cabo la conversión de dicha subestación es transitorio. Por otro lado si comparamos con la Etapa 0 (Tabla # 34) veremos que aún así los resultados son mejores.

Tabla # 34; Comparación entre las Etapas 0 y II.

<b>Etapas</b>	<b>PP (kW)</b>	<b>E(kWh)</b>	<b>PE (MW.h/año)</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV.A Dem</b>
<b>0</b>	1386	17039	6219	68100	35872
<b>II</b>	1257	16326	5959	68700	38573
<b>Total</b>	<b>129</b>	<b>713</b>	<b>260</b>	<b>-600</b>	<b>-2701</b>

### 2.2.5 Puesta en marcha de la Etapa III.

Luego de haber concluido con la etapa anterior estarían las bases creadas para en el 2012 darle inicio a la conversión de la Sub Reina y el resto de los circuitos 7 y 67, quedando configurado los circuitos de la forma que se muestra en el Anexo #13.

Primeramente se convertirá el circuito 65 el cual será asimilado por el circuito 2 ya convertido en la etapa anterior. Seguidamente se comenzará a convertir el circuito 66 por el ramal de calle 23 desde Ave 48 hasta 58, es importante destacar que dicho circuito se dividirá en 2, una parte se alimentará desde el circuito 80 y la otra será asimilada por el circuito 65 ya convertido.

Paralelamente a estos trabajos se convertirá el resto del circuito 7 desde el 103, así se hará también con el resto del circuito 67 al circuito 104, pero solo se hará hasta el politécnico de

Informática, la parte que falta se convertirá desde la Sub Pastorita (que dejará de existir, pasará para el Circuito 7).

Luego se construirá la salida #5(circuito 105) desde la Sub Rusa hasta el barrio La Esperanza. Se comenzará a convertir el circuito 8 desde el circuito 91 (Ave 64 y calle 109) hasta el barrio La Esperanza. Una vez concluido esto se convertirá la Sub Caonao, la cual opera hoy a 4.16 kV, ya con este trabajo realizado se llevará a cabo la asimilación de una parte de Caonao que se encuentra operando a 13.8 kV alimentado desde la Sub Pueblo Griffo.

Tabla # 35: Datos de las subestaciones y circuitos de la Etapa III.

Sub	kV.A Inst.	kV	Circuitos	Ckvar Inst.	kW Dem.	kvar Dem.	kV.A Dem.	f.p	L (km)
Junco Sur	25000	13,8	17,18,19, 69,76	525	13345	4944	14231	0,95	59
Sub Rusa	25000	13,8	101,102,103, 104, 106	1350	15115	6713	16539	0,95	85
Cfgos 13 kV	12600	13,8	1,2,3,4,5	0	7789	3186	8415	0,93	35
<b>Totales</b>	<b>62600</b>			<b>1875</b>	<b>36249</b>	<b>14843</b>	<b>39185</b>		<b>179</b>

Tabla # 36: Datos del nivel de pérdidas de potencia y energía en la Etapa III.

Sub	PP (kW)	E(kWh)	PE (MW.h/año)	kV.A Inst.	kV.A Dem.	Cargabilidad (%)
Junco Sur	305	3761	1373	25000	14231	57
Rusa	361	5461	1993	25000	16539	66
Cfgos 13 kV	156	3255	1188	12600	8415	67
<b>Totales</b>	<b>822</b>	<b>12477</b>	<b>4554</b>	<b>62600</b>	<b>39185</b>	

La tabla que se muestra a continuación corresponde con la comparación de la Etapa 0 con la Etapa III, en ella se puede apreciar que la ciudad en un período de 3 años tendrá según los estudios realizados un aumento de la demanda de 3313 kV.A. Se debe destacar que este aumento será mayormente residencial ya que en el análisis realizado nos se consideran las industrias ya que estas seguirán conectadas a la Sub CMC 110/34.5 kV. No obstante a pesar de este

crecimiento gracias a la conversión se ha logrado una disminución de las pérdidas y un ahorro de 1665 MW.h/año.

Tabla # 37: Comparación entre la Etapa 0 y III.

<b>Etapas</b>	<b>PP (kW)</b>	<b>E(kWh)</b>	<b>PE (MW.h/año)</b>	<b>kV.A Inst.</b>	<b>kV.A Dem</b>
<b>0</b>	<b>1386</b>	<b>17039</b>	<b>6219</b>	<b>68100</b>	<b>35872</b>
<b>III</b>	<b>822</b>	<b>12477</b>	<b>4554</b>	<b>62600</b>	<b>39185</b>
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>4562</b>	<b>1665</b>	<b>5500</b>	<b>-3313</b>

## **Capítulo III: Análisis de operación del sistema ante averías.**

Para llevar a cabo este estudio partiremos de tomar como base el Anexo #13 correspondiente con la Etapa 3, ya que esta sería la configuración definitiva que tendrá nuestra ciudad al final el proceso de conversión.

Si analizamos la carga que lleva la ciudad hoy es de aproximadamente 40 MV.A nos podemos percatar que es posible alimentarla con dos subestaciones de 25 MV.A (110/13.8 kV). Pero si alguna de ellas fallara por algún motivo se quedaría gran parte de la ciudad sin servicio eléctrico. Es por ello necesario mantener una tercera subestación 33/13.8 kV hasta que se construya la tercera subestación 110/13.8 kV

Se va a considerar que solo saldrá una sola subestación fuera de servicio por avería o mantenimiento, una vez que esto ocurre hay que cerrar y abrir circuitos según convenga para pasar la carga de la subestación fallada a las que se van a encontrar trabajando. Cuando estamos en presencia de esta situación los circuitos van a tener una mayor longitud y por ende una mayor carga. A consecuencia de esto se ven afectados los parámetros fundamentales de la línea (caída de voltaje y pérdidas de potencia). Por tanto los circuitos deben ser reconfigurados de forma tal que se garantice que se cumpla que la caída de voltaje esté por debajo del máximo permisible y que las pérdidas sean lo menor posible.

Este análisis se realiza para la condición de máxima demanda puesto que el mantenimiento puede ser planificado en un momento dado que no coincida con el pico, pero la falla puede ocurrir en cualquier momento y puede coincidir con el horario de máxima demanda que es cuando ocurren las mayores pérdidas. Al hacerlo para esta condición podemos garantizar que el sistema pueda operar para cualquier otro horario del día.

### **3.1 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Cfgos 13 kV.**

La primera configuración a analizar será con avería en Cfgos 13 kV, esta tiene características que resultan provechosas a la hora de conectar sus circuitos con los de las subestaciones que le ofrecen respaldo, ya que la misma es la que menos carga lleva en la ciudad (7.8 MV.A), se encuentra localizada en una zona donde confluyen un gran número de circuitos provenientes de

otras subestaciones. Esto simplifica en gran medida el trabajo, porque tenemos una mayor posibilidad de conectar los circuitos entre sí, quedando su carga distribuida entre la Sub Rusa y la Sub Junco Sur.

Después de analizar detalladamente las posibles trazas que podían seguir los circuitos, se llegó a la conclusión de que los mismos deben tomar la configuración que se presenta en el Anexo #14, para ello las operaciones se realizarán de la siguiente forma:

- Cto 1: Se cerraran interruptores en 56 / 61 y 63 para poder pasar la carga hacia el Cto 18 (Sub Junco Sur).
- Cto 2: Se cerrará interruptor en 48 / 47 y 49, de esa forma el Cto 100 (Sub Junco Sur) asume dicha carga.
- Cto 3: Se cierra interruptor en 28 / 51A y 53 alimentando por aquí al Cto 20 hasta el punto de distribución de La Plaza dejando cerrado el interruptor C-20, de esta forma se alimenta a través de la barra el Cto 3, luego se cierra el interruptor en 61 / 28 y 26 suministrándole la energía al Cto - Las Minas, así el Cto- 69 (Sub Junco Sur) asume dicha carga. A la hora de asimilar la carga existe la variante de cerrar el interruptor 28 / 51A y 53 y alimentar al Cto- Las Minas desde el punto de distribución La Plaza o a través del interruptor 16 / 39 y 41 pero de esta forma las pérdidas de potencia serían mayores que con la variante propuesta.
- Cto 4: Se cierra interruptor en 39 / 48 y 50 y de esa forma asimila el Cto 81(Sub Rusa) al Cto 4.
- Cto 5: Este circuito lo enlazamos con el Cto-17 (Sub Junco Sur) desde la barra de la Sub Cfgos 13kV por no tener otra posibilidad de enlace con dicho circuito.

Otra variante pudiera ser alimentarlo desde el Cto-80 mediante el interruptor ubicado en 33 /54 y 56 pero el análisis arroja que las pérdidas de potencia y energía son mayores al utilizar esta variante.

Nota: Las aperturas y cierres de los interruptores dentro de las subestaciones y puntos de distribución no siempre se mencionan. El orden de las manipulaciones de los interruptores y cuchillas se deja a disposición del Despacho de Distribución.

Después de realizar este análisis con el Radial 7.7 se obtuvieron los valores que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla #38: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Junco Sur.

<b>Ctos</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>69</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>Total</b>
<b>P (kW)</b>	3431	3274	4130	6844	734	2764	21177
<b>Q (kvar)</b>	1453	1452	1519	2161	427	1075	8087
<b>S (kV.A)</b>	3726	3582	4400	7177	849	2966	22669

Tabla #39: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Rusa

<b>Ctos</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>Total</b>
<b>P (kW)</b>	1754	4036	1605	1931	3148	3640	16114
<b>Q (kvar)</b>	799	2271	692	1031	1300	1445	7538
<b>S (kV.A)</b>	1927	4631	1748	2189	3406	3916	17790

Los resultados obtenidos nos muestran que tanto las subestaciones cuando asumen las cargas de otros circuitos como los conductores de los troncos de los circuitos no quedan sobrecargados pues la demandas en las subestaciones está por debajo de la capacidad nominal de los transformadores y la corriente en las líneas también está por debajo de la máxima permisible para el conductor usado. El calibre utilizado en el tronco de estos circuitos es AAAC-158 mm y el mismo puede soportar hasta demandas de 10 MV.A según datos establecidos por los fabricantes, por lo que se puede observar que estos circuitos pueden llevar estas cargas sin ningún tipo de problemas.

Según se puede observar en la siguiente tabla tampoco tenemos problemas con la caída del voltaje pues en todos los casos están por debajo de la máxima permisible.

Tabla # 40: Caídas de voltaje más significativas de cada circuito.

Circuitos	Voltaje (kV)	$\Delta V$ (%)	Nodo	Dirección
17	13,59	1,54	122	35 / 54 y 56
18	13,6	1,37	89	68 / 51 y 53
69	13,23	4,13	319	33 y Calle 0 (La Punta)
100	13,67	0,96	153	7 / 52 y 54
102	13,33	3,43	85	35 / 62 y 64

### 3.2 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Rusa.

La segunda configuración a analizar será con avería en la Sub Rusa, esta es una subestación que asumirá la mayor parte de la carga de la ciudad (15.9 MV.A), encontrándose en la periferia de la misma, por lo que la alimentación de sus circuitos en caso de averías se encuentra un poco más limitada ya que no existen muchas variantes posibles para llevar hacia ella la energía.

En el Anexo #15 se muestra cómo debe quedar la configuración de dicha subestación ante tal situación. La forma en que se realizarán las operaciones será de la siguiente manera:

- Cto 80: Este se alimentará desde el circuito 5 y para ello se cerrará interruptor en 33 / 56 y 54.
- Cto 81: Se cerrará interruptor en 39 / 48 y 50 y se alimentará desde el circuito 4.
- Cto 7, 67 (103, 104): Estos circuitos serán asimilados por el circuito 1, para ello hay que cerrar interruptor en 47 / 72 y 74, de esta forma calentamos la línea del circuito 102 que le daba servicio al punto de distribución San Lázaro (Ctos 80 y 81) y cerramos el interruptor que se encuentra al final de la calle 63 (Cocaleca) que une el circuito 102 con el 103 pudiendo de esta forma calentar el circuito 7 y el 67 desde la Sub Rusa.
- Cto 8, 90 (105): Son los circuitos más alejados de la ciudad, por lo que para suministrarle la energía es preciso hacerlo desde el circuito que alimenta Tulipán (Cto 19) pero para poder unir el circuito 19 con el circuito 8 es necesario seccionar el circuito 91 o sea se debe abrir un interruptor en 97 / 64 y 66 y cerrar interruptores situado en 87 / 64 y 2ne y 64 / 105 y 107, una vez caliente el circuito 8 se calienta el circuito 90 cerrando cuchillas situadas en 64 / E y F (La Ceiba).

- Cto 91, 92, 93: Son circuitos en los cuales la carga que predomina es la residencial. Estos se alimentarán desde el circuito 18 provenientes de la Sub Junco Sur, para ello se cerrará el interruptor que se encuentra en 63 / 6 y 8ne (Hospital de Especialidades) el cual tiene como función alimentar dicho hospital desde el Cto-92, del cual se alimentará en caso de emergencia, ya con este caliente se alimentará desde el punto de seccionalización ubicado en Pueblo Griffó los Ctos 91 y 93.

A continuación mostramos los valores obtenidos luego de la asimilación de las cargas por la Sub Cfgos 13 kV y la Sub Junco Sur.

Tabla # 41: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Cfgos 13 kV.

<b>Ctos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Totales</b>
<b>P (kW)</b>	4441	1729	3232	1722	3840	14964
<b>Q (kvar)</b>	2484	835	1077	960	1836	7192
<b>S (kV.A)</b>	5088	1920	3407	1972	4256	16603

Tabla # 42: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Junco Sur.

<b>Ctos</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>69</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>Totales</b>
<b>P (kW)</b>	2036	7690	7129	2925	734	1241	21455
<b>Q (kvar)</b>	880	3496	2780	1089	427	406	8978
<b>S (kV.A)</b>	2218	8447	7652	3121	849	1306	23535

Al igual que en la avería anterior los resultados obtenidos muestran que los conductores de los troncos de los circuitos no quedan sobrecargados. No obstante la subestación Cfgos 13 kV queda sobrecargada en un 32 %, esta sobrecarga se puede asimilar ya que al transformador se le sitúan ventiladores y puede llevar la misma durante un largo tiempo sin provocar daño al aislamiento interno.

Según se puede observar en la siguiente tabla tampoco tenemos problemas con la caída del voltaje pues en todos los casos están por debajo de la máxima permisible.

Tabla # 43: Caídas de voltaje más significativas de los circuitos en cuestión.

Circuitos	Voltaje (kV)	$\Delta V$ (%)	Nodo	Dirección
18	13,52	2,01	143	48 / 75y 77
19	13,22	5,55	317	Este / Palma y San Joaquín
1	13,28	3,8	254	Universidad
4	13,74	0,48	161	43 / 60 y 62
5	13,67	0,95	86	35 / 62 y 64

### 3.3 Salida por avería o mantenimiento de la Sub Junco Sur.

Por último analizaremos la avería en la Sub Junco Sur que es una subestación que le falta poca carga por asumir ya que es la única que se encuentra en la actualidad trabajando a 13.8 kV, la cual lleva una carga de (13.2 MV.A). La misma presenta 2 circuitos (18, 19) que se alimentarán desde la Sub Rusa, donde la configuración de ellos variará muy poco en relación con el análisis realizado en el paso anterior, ya que solo a ellos se le variará el sentido del flujo potencia.

En el Anexo #16 se muestra la manera en que se van a acometer las operaciones siguientes:

- Cto 17: Se cerrará el interruptor C-64 que es la sexta salida de la Sub Cfgos 13 kV, dicha salida le daba antiguamente alimentación al Cto 64, ya cuando se construye la Sub Junco Sur por problemas de fiabilidad se pasa para el Cto-17 debido a que el mismo alimenta al Hospital Provincial y al Hospital Pediátrico. Siempre se quedó esa salida intacta en la Sub Cfgos 13 kV pensando en dar alimentación a dicho circuito desde cualquier extremo según conviniera. Por otra parte el C-69 se alimentará desde la barra de la Sub junco Sur puesto que su carga es pequeña.
- Cto 18: Se cerrará interruptor situado en 63 / 6 y 8ne (Hospital de Especialidades) alimentándose del Cto-92.
- Cto 19: Se cerrará el interruptor situado en 87 / 64 y 2ne, quedando alimentado del cto-91.
- Cto 76: A este circuito se le suministrará la energía desde el circuito 17 ya que se conectará a la barra que alimenta al circuito 76 desde la propia subestación.

- Cto 100: Este circuito se alimentará del circuito 1 al cerrar el interruptor ubicado en Ave 50 / 49 y 51. Se le suministrará la energía desde aquí ya que la carga que lleva el circuito 1 es pequeña.

Tabla # 44: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Rusa.

<b>Ctos</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>Totales</b>
<b>P (kW)</b>	1640	3672	1756	1484	3148	10301	22001
<b>Q (kvar)</b>	747	2009	1066	847	1300	4385	10354
<b>S (kV.A)</b>	1802	4186	2054	1709	3406	11195	24316

Tabla # 45: Potencia adquirida por los circuitos de la Sub Cfgos 13 kV.

<b>Ctos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>17</b>	<b>Totales</b>
<b>P (kW)</b>	2639	1729	5281	481	1734	2856	14720
<b>Q (kvar)</b>	866	835	1906	202	717	1506	6032
<b>S (kV.A)</b>	2777	1920	5614	522	1876	3229	15908

Tabla # 46: Caídas de voltaje más significativa de los circuitos en cuestión.

<b>Circuitos</b>	<b>Voltaje (kV)</b>	<b><math>\Delta V</math> (%)</b>	<b>Nodo</b>	<b>Dirección</b>
69	13,41	2,84	269	46 / 43 y 45
17	13.63	0.98	354	Bombeo Junco Sur.
19	13,08	5.2	392	91 / 60 y 62
18	13,65	1.01	32	6ne / 64 y 66

Al igual que en la avería anterior los resultados obtenidos muestran que los conductores de los troncos de los circuitos ni los transformadores de las subestaciones quedan sobrecargados. Según se puede observar en la tabla de los voltajes tampoco tenemos problemas con la caída del voltaje pues en todos los casos están por debajo de la máxima permisible.

## **Conclusiones.**

---

- 1 Al analizar la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos se pudo constatar que la situación de los circuitos que operan a 4.16 kV es mala, pues sus principales componentes llevan algunos años de explotación, siendo imposible asumir en estos nuevas cargas puntuales, por lo que se requiere de nuevas inversiones en los mismos.
- 2 Una vez concluida la investigación se pudo aseverar que se logra un ahorro en pérdidas de potencia y energía bastante considerable, ya que se elimina un paso de transformación al pasar directamente desde la transmisión a la distribución.
- 3 La nueva configuración de la red permite eliminar todas las zonas de bajo voltaje existentes en la ciudad de Cienfuegos brindándole a la población un mejor servicio.
- 4 Con el funcionamiento de dos subestaciones 110/13.8 kV se garantiza un servicio donde las caídas de voltaje y las pérdidas de potencia están dentro de los parámetros establecidos.
- 5 Es necesario la existencia de una tercera subestación para lograr la eficiencia del servicio en caso de una avería, garantizando la fiabilidad del sistema.

## Recomendaciones.

---

1. Como resultado del análisis se determinó que a pesar de ser posible la alimentación de la ciudad con dos subestaciones, es necesario una tercera subestación debido a que el análisis en régimen de averías arroja que con una sola subestación no es posible llevar toda la carga.
2. Se debe usar como puntos de distribución las siguientes subestaciones:
  - Pueblo Griffo
  - San Lázaro
  - Reina
  - Plaza
  - Pastorita
3. Se debe instalar interruptores automáticos en los puntos de enlace de los circuitos con el objetivo de disminuir el tiempo de interrupción al usuario (TIU).
4. Proponer para las próximas investigaciones la idea de la distribución automática, es decir donde desde el despacho se puedan operar las distintas cuchillas e interruptores para brindar servicio a distintos circuitos según la carga que estén demandando, todo provocado por el avance vertiginoso de la ciencia y la tecnología.

## **Bibliografía.**

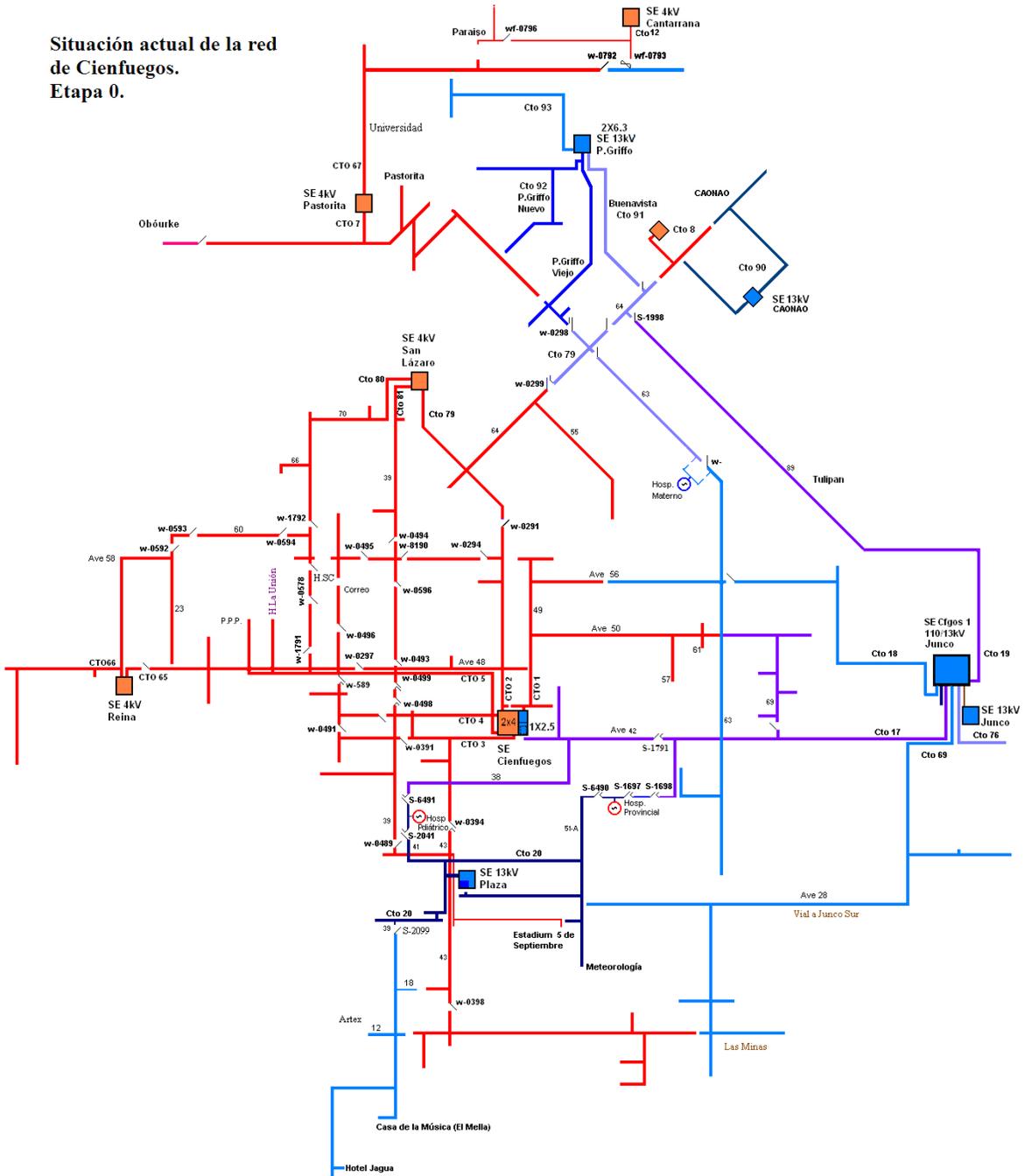
---

1. Fernández, L.C. Sistemas electroenergéticos. Tomo I Capítulos II y III, Tomo II Capítulos XI, XII y XV. 1991.
2. Fernández, L.C. Sistemas electroenergéticos. Parte I. 1977.
3. Cuellar Román, Yeovany A; Zúñiga Palau, Yoanni M. Estudio integral de la distribución primaria en la ciudad de Sancti Spíritus. 2004-2005.
4. Eléctrica, U.N. Directiva sobre planeamientos. 2004.
5. Cienfuegos, D.O. Hoja de lecturas de subestaciones. 2008.
6. Fernández, E.P. Transformadores de Cienfuegos. 2008.
7. Ramos, H.M. Base de datos SIGERE Cienfuegos. 2008.
8. Salcines, R.R. Propuesta Plan de Conversión Distribución Primaria en la Ciudad de Cienfuegos. 2007.
9. Santos, V.S. Distribución primaria en la ciudad de Cienfuegos. 2004.

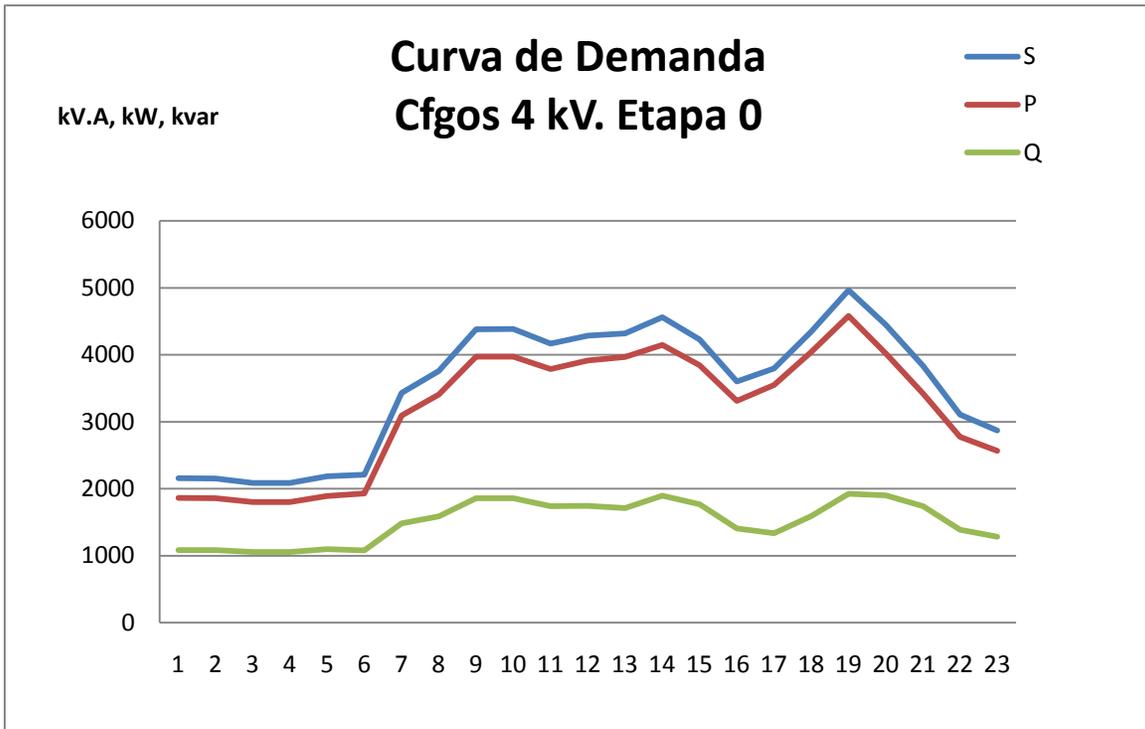
# Anexos.

## Anexo # 1

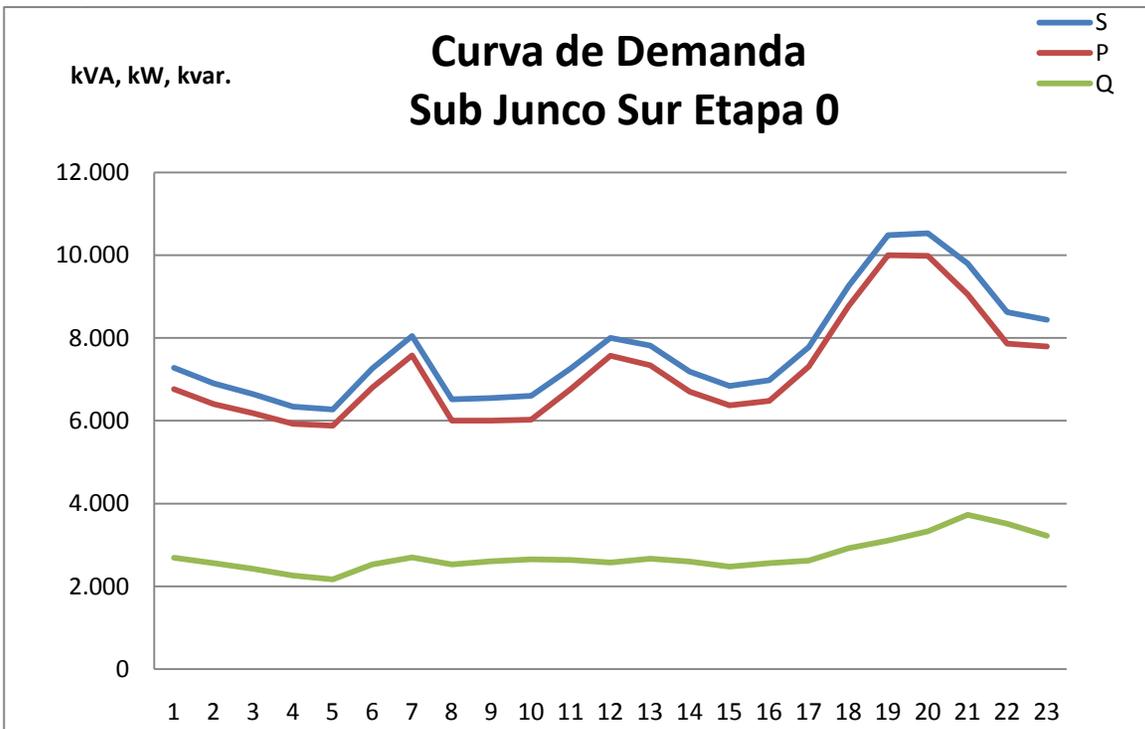
Situación actual de la red de Cienfuegos.  
Etapa 0.



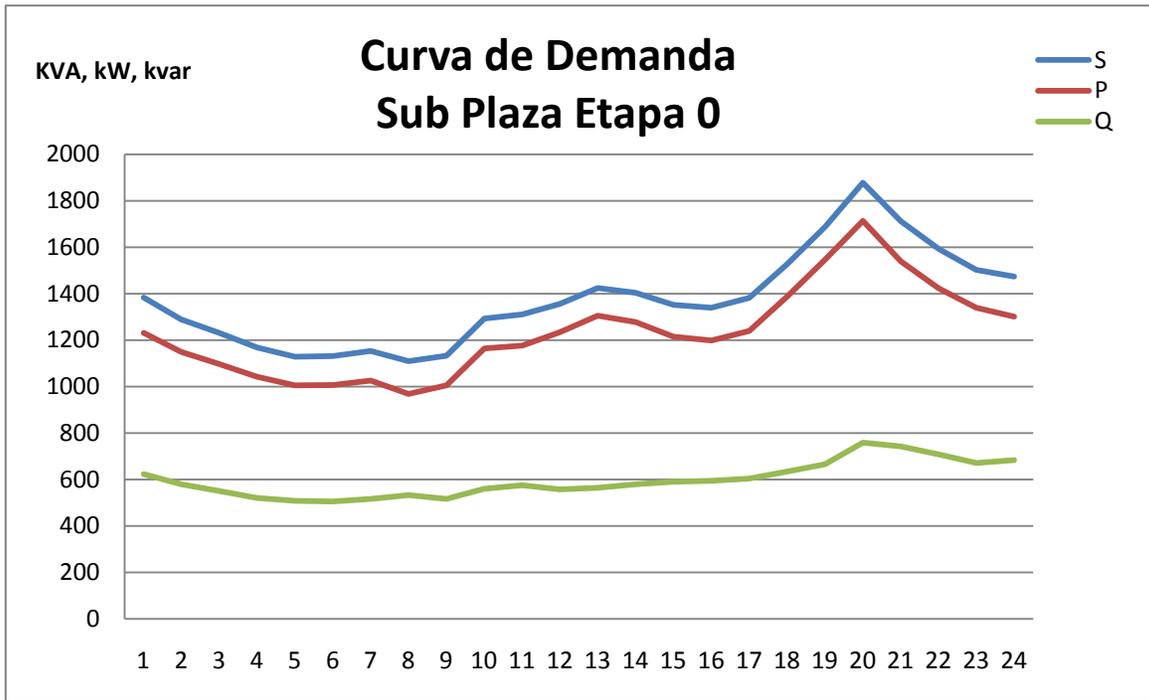
### Anexo # 2



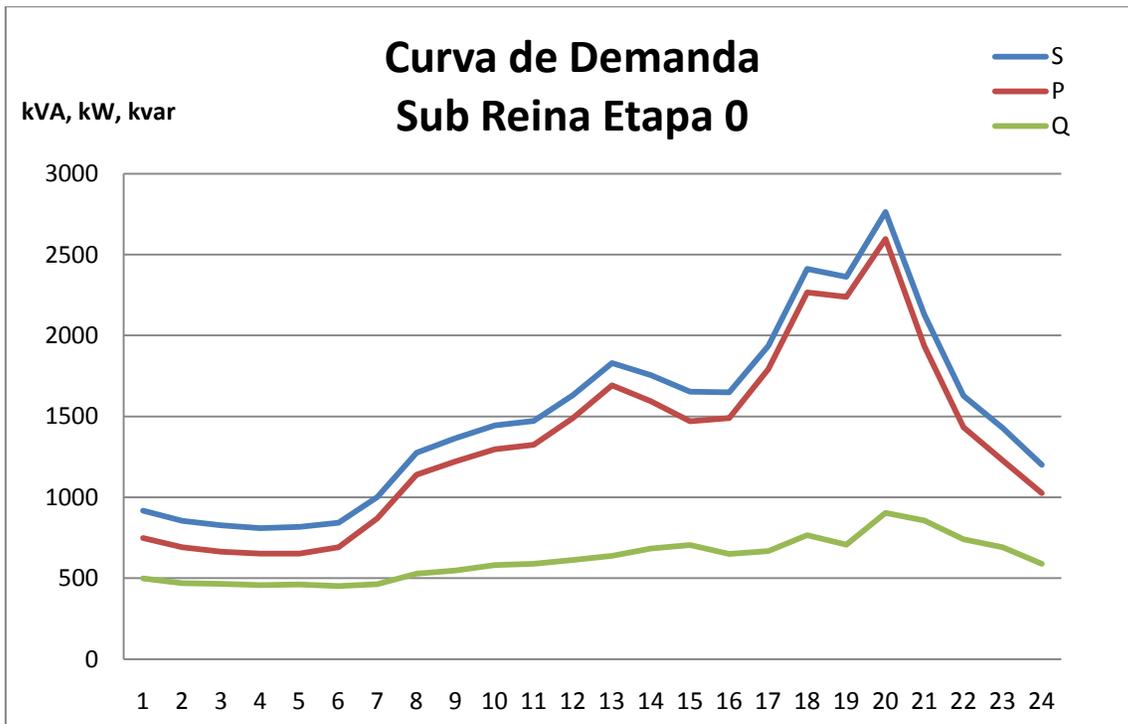
### Anexo # 3



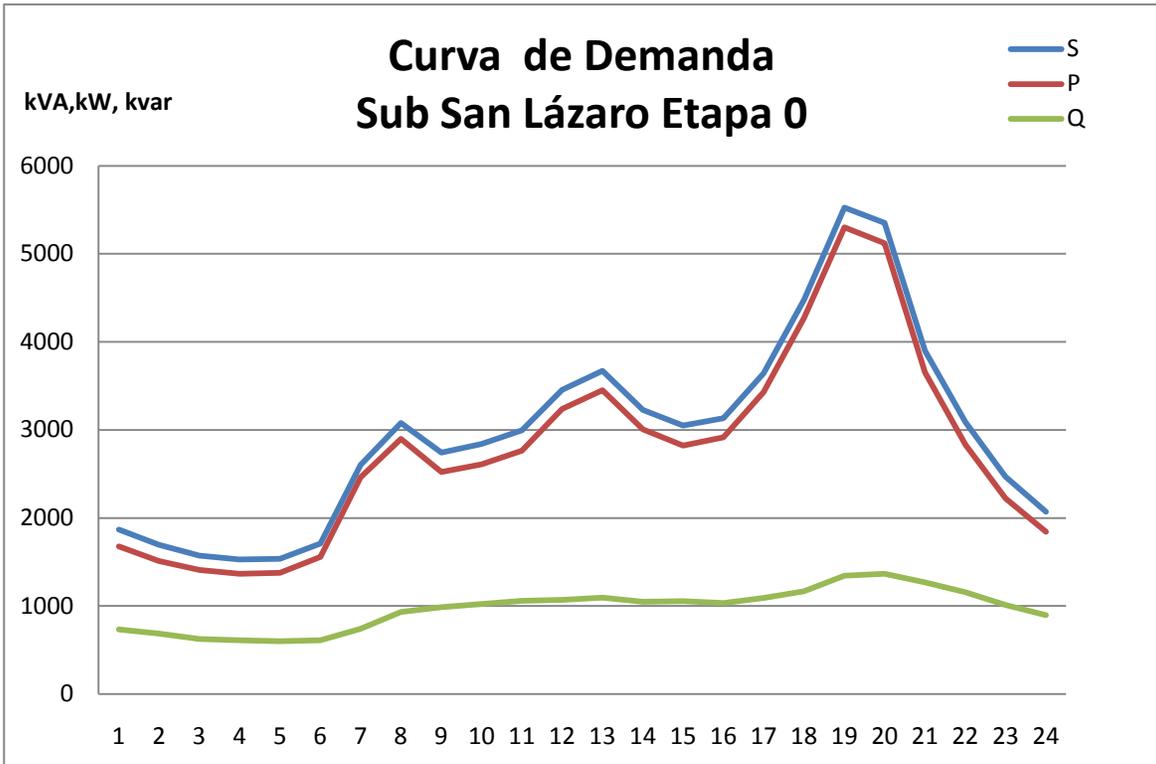
Anexo # 4



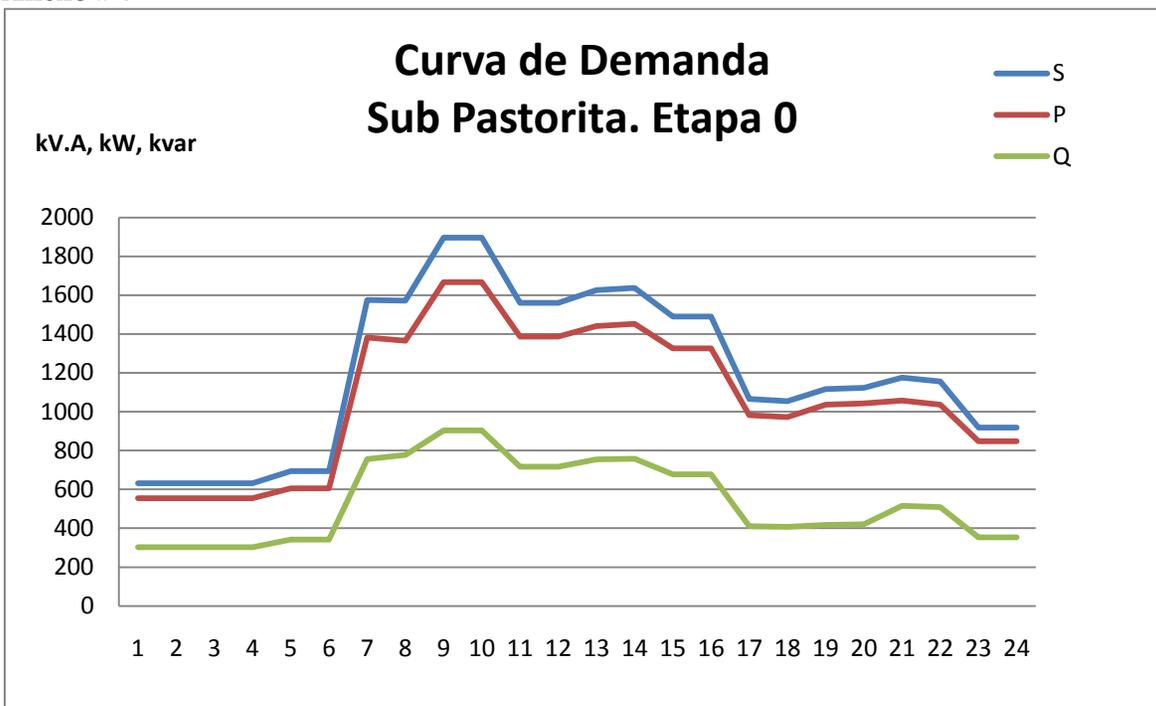
Anexo # 5



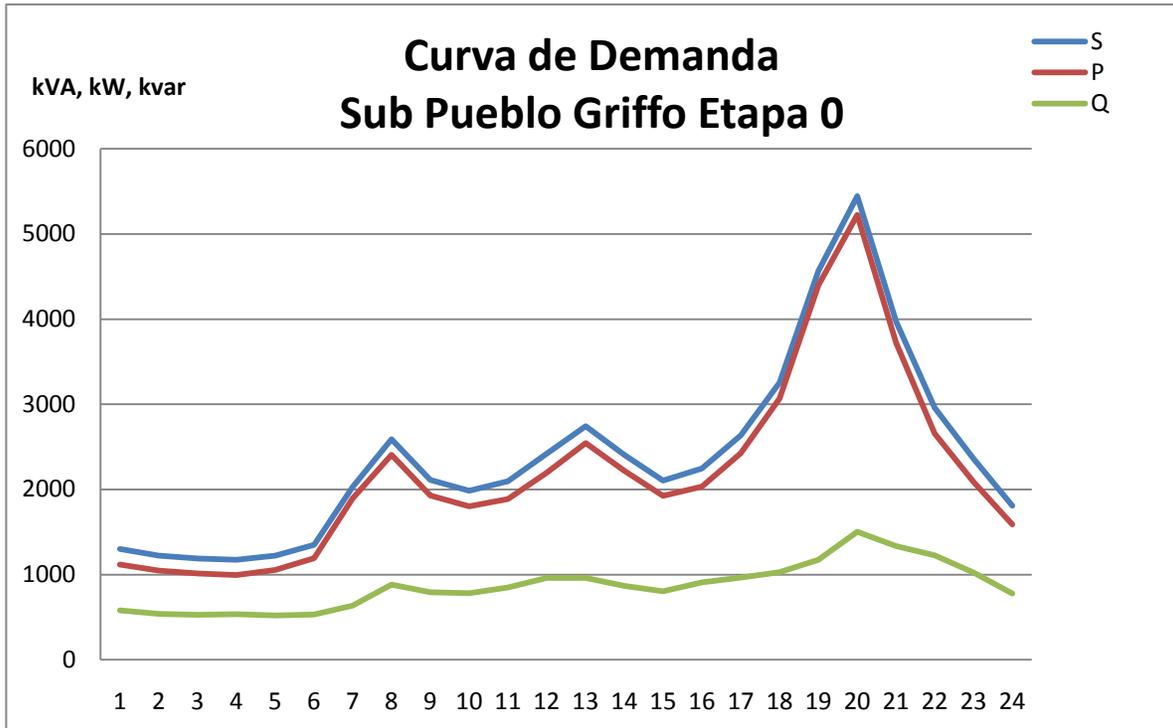
**Anexo # 6**



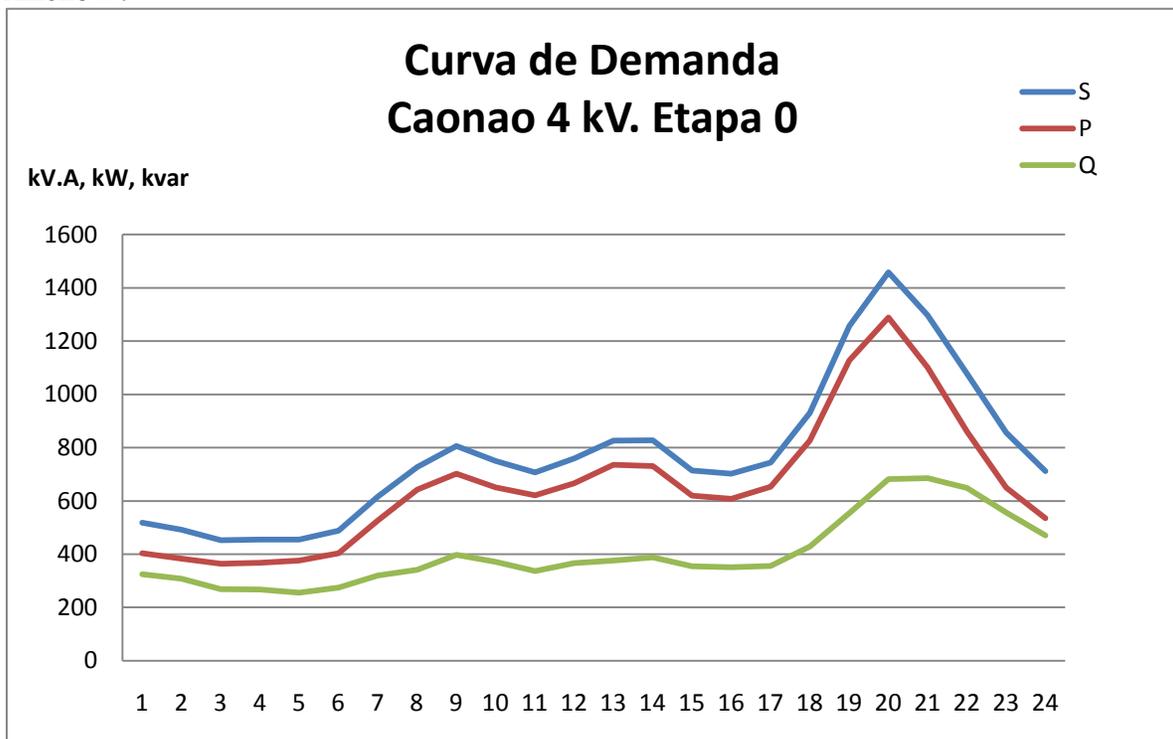
**Anexo # 7**



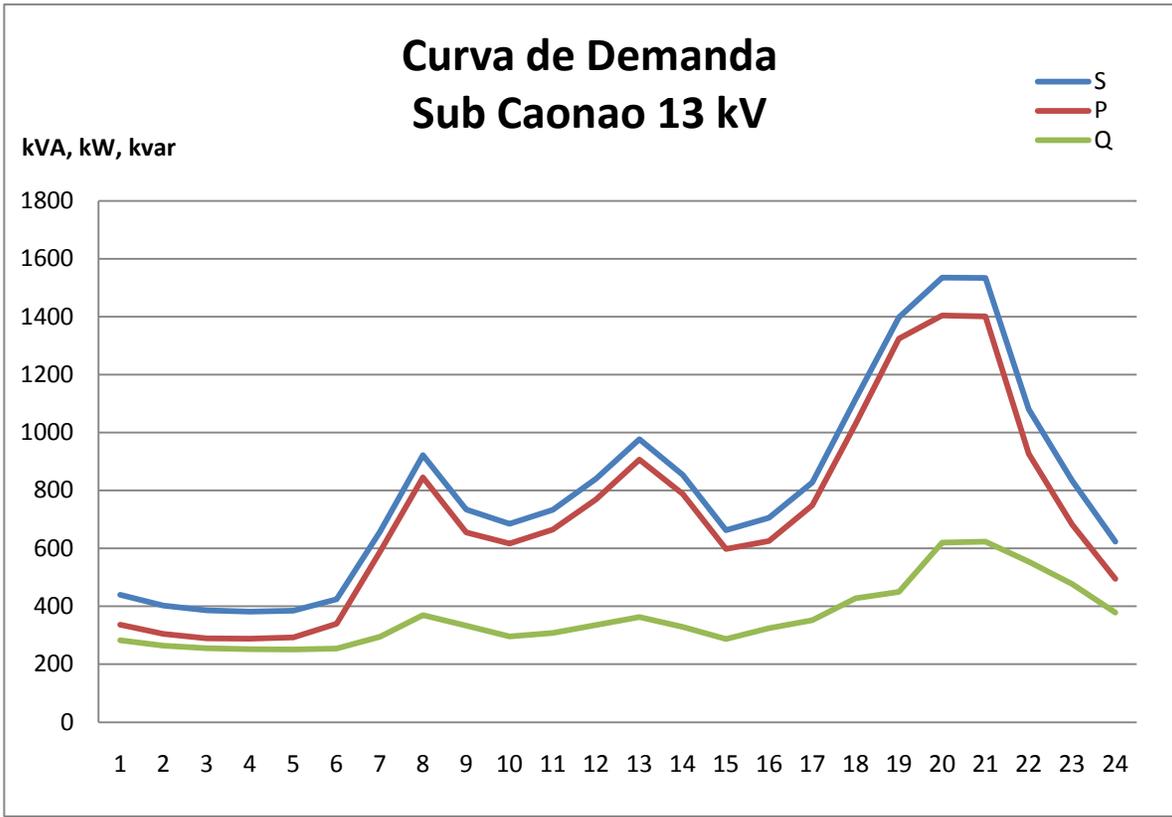
### Anexo # 8



### Anexo # 9



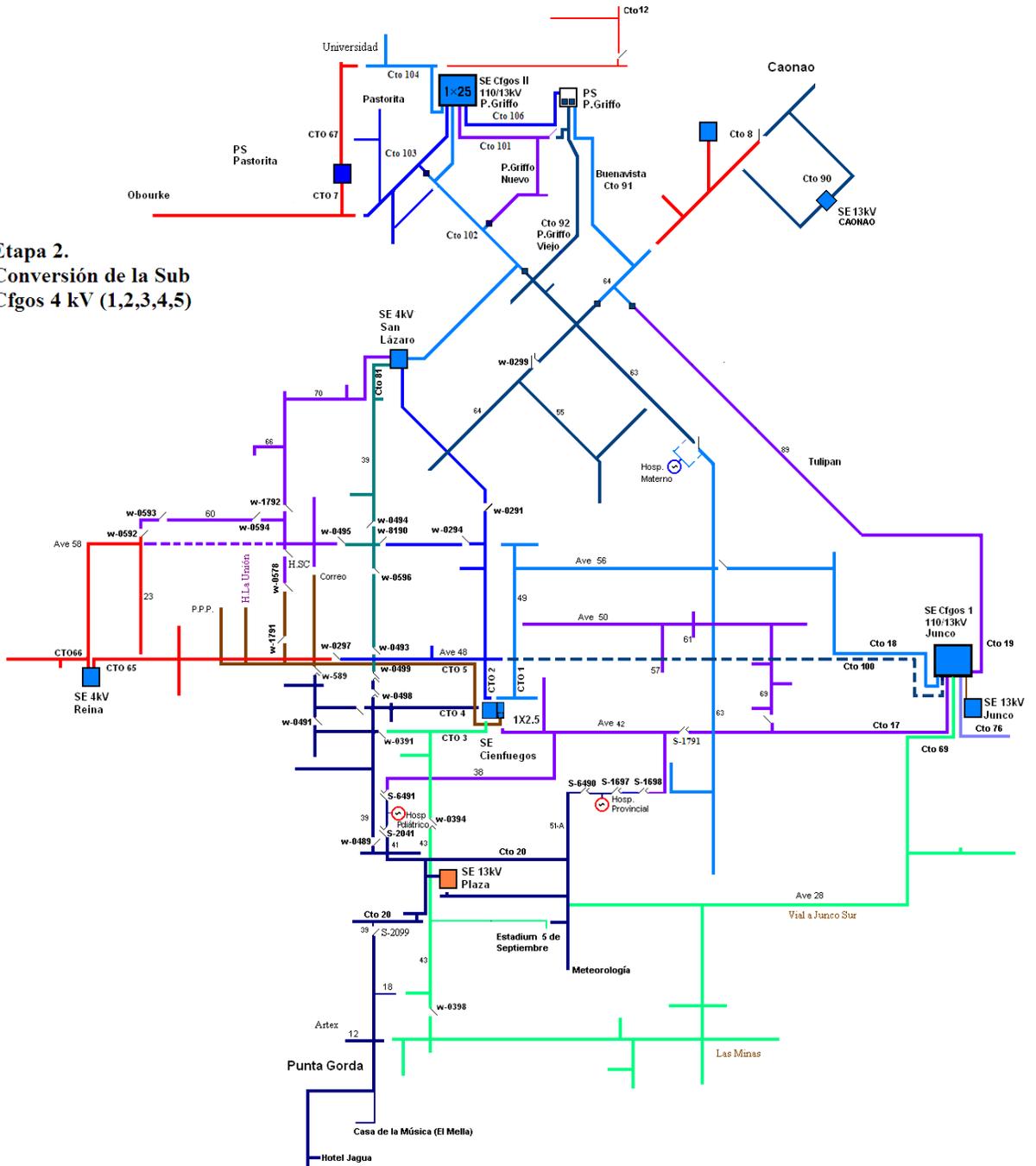
Anexo # 10



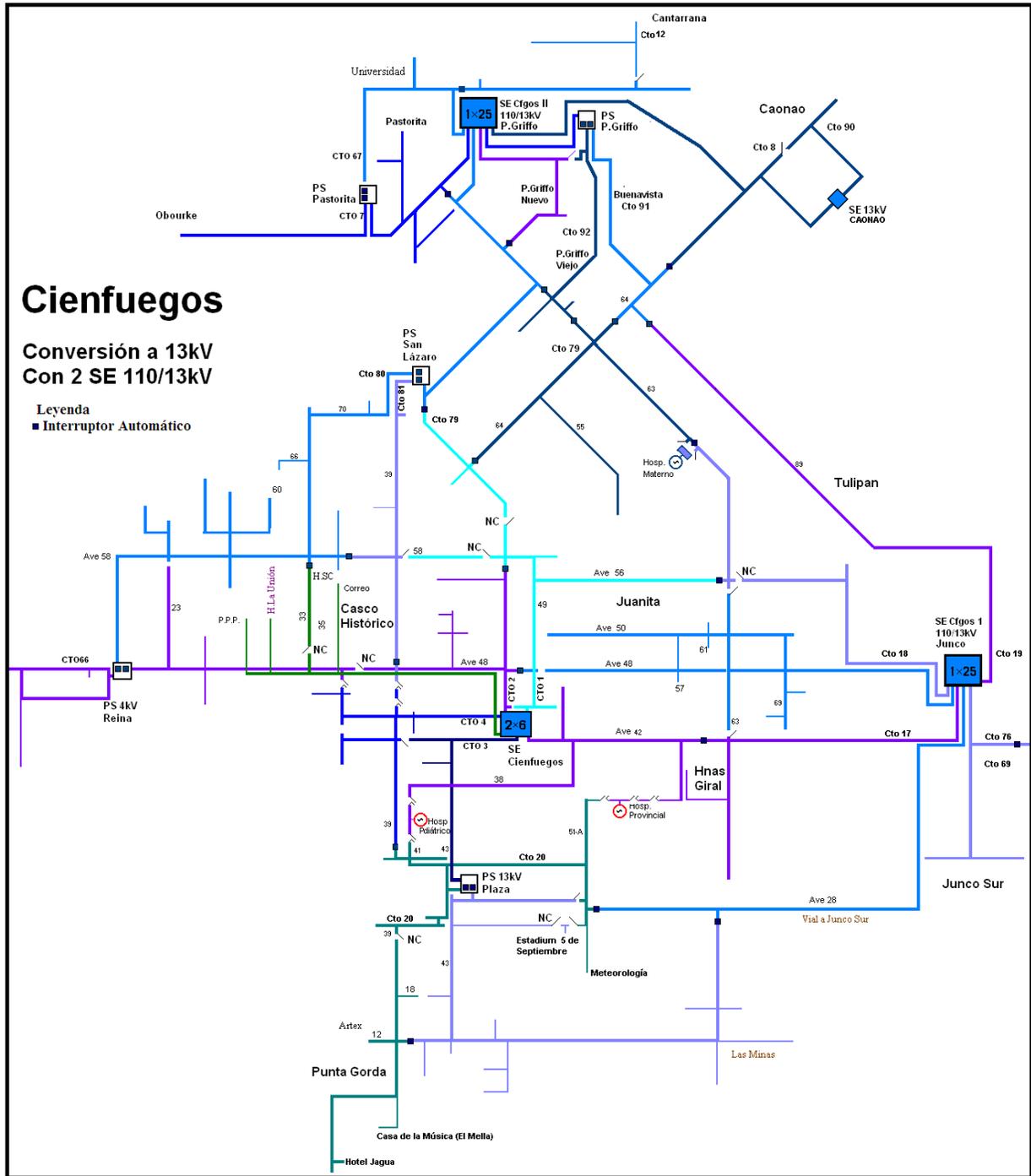


## Anexo # 12:

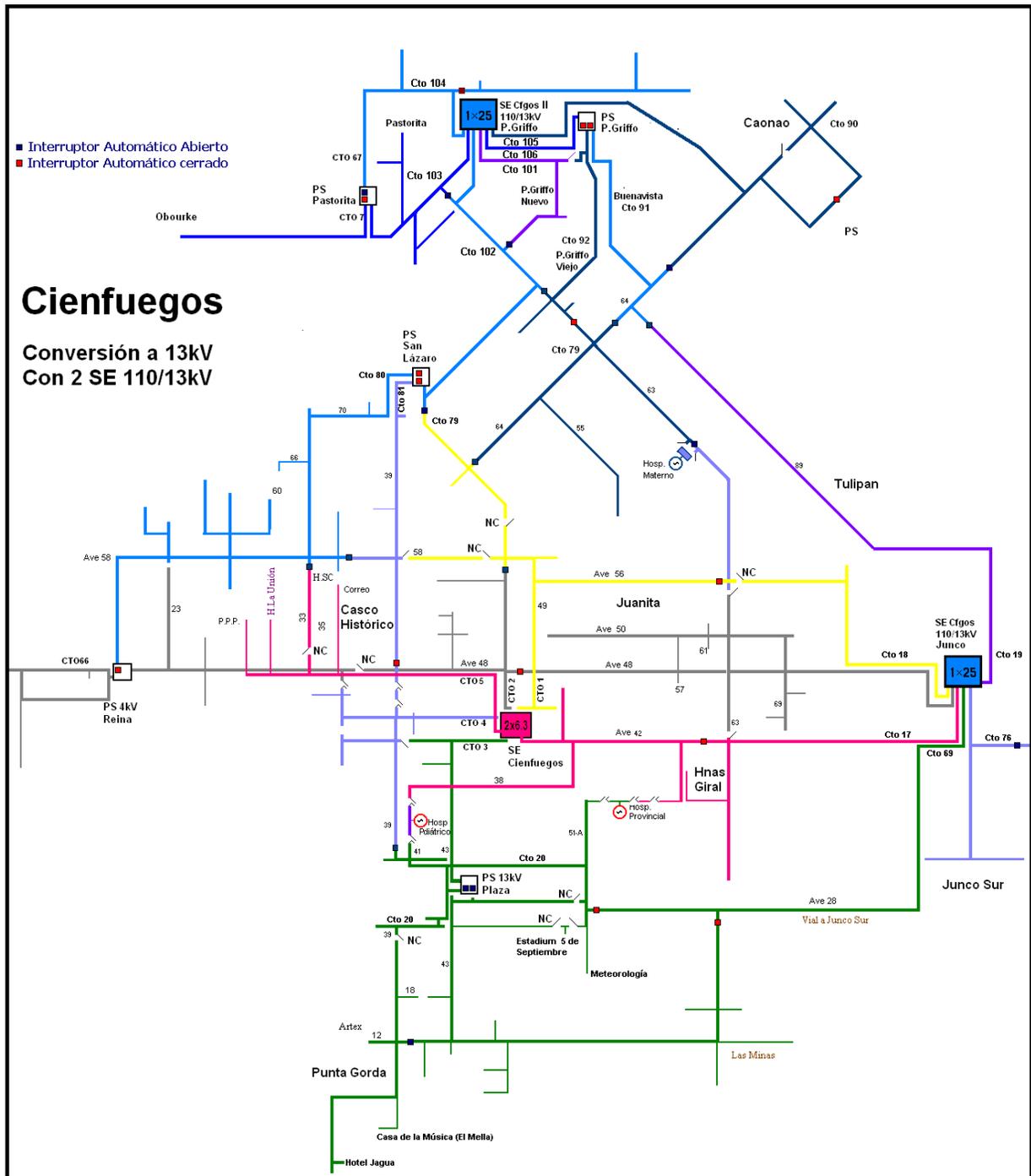
### Etapla 2. Conversión de la Sub Cfgos 4 kV (1,2,3,4,5)



Anexo # 13:



Anexo # 14:



Anexo # 15:

