



FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma

en Opción al Título de

Ingeniero Eléctrico

TEMA: *Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.*

AUTOR: *David José Beatón González.*

Tutor: *Ing. Roger Fonseca Bless.*

Consultante: *Ing. María Cristina Ferreiro Mora.*

"AÑO 58 DE LA REVOLUCIÓN"

MOA – 2016

Declaración de Autoridad.

Yo:

Diplomante: David José Beatón González.

Tutor: Ing. Roger Fonseca Bless.

Consultante: Ing. María Cristina Ferreiro Mora.

Autor del Trabajo de Diploma:

Certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime necesaria.

David José Beatón González

(Diplomante)

Ing. Roger Fonseca Bless.

Ing. María Cristina Ferreiro Mora.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito secundario de distribución MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Agradecimientos.

Agradezco en primer lugar a mis padres José Antonio Beatón Ramírez y Mania Ester González del Toro que tanto se han esforzado para que yo pudiera llegar hasta aquí, por su ayuda en todo momento y estar siempre a mi lado.

A mi novia Dianelis Rodríguez y a mi amigo Julio Noa por ayudarme cada vez que los necesité.

A mi tío Reinaldo González y a mi amiga Isabel por su ayuda en momentos cruciales del trabajo.

Quiero agradecer a mis tutores Roger Fonseca Bless y María Cristina Ferreiro Mora por guiarme en esta tarea y orientarme siempre que los necesité.

Gracias a los compañeros de la OBE del municipio Mayarí, Marilis, Madelaine, Albertico, Raidel....

A TODOS mis compañeros(as) del Aula, y de la Universidad en General.

Gracias al claustro de profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica por la formación académica recibida.

A la Revolución por ser esta una de las muchísimas oportunidades que me ha dado a favor de mi crecimiento profesional y humano.

A todos gracias.

Dedicatoria.

Dedico este trabajo a mis padres y a mi novia, que con su esfuerzo, amor y dedicación han hecho posible que este sueño se haga realidad.

Frase.

*“Invertir en conocimientos produce siempre los mejores
beneficios”.*

Benjamín Franklin.

*“Hay una fuerza motriz más poderosa que
el vapor, la electricidad y la energía atómica:
la voluntad.”*

Albert Einstein.

Tabla de contenido.

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	5
1.1 Introducción	5
1.2 Análisis Bibliográfico de Trabajos Precedentes	5
1.3 Sistema Electroenergético Nacional	9
1.3.1 Cambios Realizados en los Circuitos de Distribución Urbana de la Provincia y el Municipio Mayarí	10
1.4 Pérdidas de energía eléctrica	11
1.4.1 Pérdidas Técnicas	11
1.4.2 Pérdidas no Técnicas o Comerciales	15
1.5 Conclusiones	16
CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES (Determinación de la Caída de Tensión y Pérdidas de Potencia del Circuito MB-64).....	17
2.1 Introducción	17
2.2 Exposición de las Ecuaciones para el Cálculo Manual	17
2.3 Método para el Cálculo de la Caída de Tensión y las Pérdidas.....	18
2.4 Caracterización del circuito seleccionado	22
2.4.1 Caracterización del objeto de estudio	23
2.5 Levantamiento y Análisis del Estado del Circuito Objeto de Estudio.	24
2.6 Procedimientos a Tener en Cuenta para el Reajuste del Circuito	25
2.7 Exposición de las Distintas Variantes para Mejorar el Circuito	25
2.7.1 Primera Variante	26
2.7.2 Tercera Variante.....	27
2.7.3 Cuarta Variante.	29
2.8 Propuesta de Mejoras para el Circuito Objeto de Estudio	30
2.9 Conclusiones	33

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y VALORACIÓN ECONÓMICA.	34
3.1 Introducción.	34
3.2 Metodología para el Cálculo Técnico Económico del Proyecto	34
3.4.1 Valor Actual Neto.	35
3.4.2 Tasa Interna de Retorno.	35
3.4.3 Tiempo de recuperación de las inversiones (Ta).	36
3.3 Análisis y Valoración Económica de Cada Variante como Propuesta de Mejoras.	37
3.3.1 Análisis y Valoración Económica de la Primera Variante.	38
3.3.2 Análisis y Valoración Económica de la Tercera Variante.	40
3.3.3 Análisis y Valoración Económica de la Cuarta Variante.	42
3.4 Análisis y Valoración Económica de la Variante Seleccionado como Proyecto de Mejoras.	44
3.5 Resumen del Proyecto de Mejoras Mediante Varias Variantes.	47
3.5 Impacto Medioambiental del Proyecto.	48
3.6 Conclusiones.	49
CONCLUSIONES GENERALES.	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS:	
Anexo 1: Esquema monolineal actual del circuito MB-64 del municipio Mayarí.	
Anexo 2: Esquema monolineal de la primera variante.	
Anexo 3: Esquema monolineal de la segunda variante.	
Anexo 4: Esquema monolineal de la tercera variante.	
Anexo 5: Esquema monolineal de la cuarta variante.	

Resumen

En este trabajo se muestra la necesidad de implementar un conjunto de medidas para reducir al máximo los niveles de caída de tensión y pérdidas de potencia existentes en el circuito MB-64 del municipio Mayarí. A partir del levantamiento de cargas del circuito de distribución secundaria se determinarán las características de explotación que permitan predecir las particularidades energéticas del consumo de energía. Se realizó un estudio del comportamiento de las variables eléctricas que permitan detectar las principales insuficiencias en cuanto al aprovechamiento de la misma. Se analizaron diferentes variantes para proponerlos como mejoras al circuito. Se realizó una valoración económica de cada variante, además, se tuvo en cuenta el impacto al medio ambiente.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Summary.

In this work the necessity is shown of implementing a group of measures to reduce to the maximum the levels of fall of tension and existent losses of power in the circuit MB-64 of the municipality Mayarí. Starting from the rising of loads of the secondary circuit of distribution the characteristics of exploitation will be determined that allow to predict the energy particularities of the energy consumption. He/she will be carried out a study of the behavior of the electric variables that allows to detect the main inadequacies as for the use of the same one. Different variants will be analyzed to propose them like improvements to the circuit. He/she will be carried out an economic valuation of each variant, also, one will keep in mind the impact to environment.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La crisis energética mundial, está presente hasta en los países más industrializados, está ligada a la escasez del petróleo, debido a que este recurso no renovable es el principal portador energético en la generación eléctrica. La electricidad no es una fuente de energía primaria pero constituye la forma de energía indispensable para poder utilizar las grandes fuentes de energía primaria en beneficio de la sociedad.

Existen países productores del llamado “Oro Negro” donde esta crisis no se ha recrudecido tanto, tal es el caso de los países del Medio Oriente, Rusia y Venezuela; en este último si bien es cierto que sus reservas son lo suficientemente grandes para abastecer el país y comercializar, no es el petróleo el recurso más utilizado para la generación eléctrica, pues el 70% es generado con tecnologías que emplean recursos renovables. La eficiencia en generación en los Sistemas Eléctricos según estadísticas mundiales está entre un 30 - 60 %. Las Unidades generadoras consumen entre 1 - 7 % de su producción. Para distribuir la electricidad se producen pérdidas entre un 5-30 % de la electricidad a la salida de los generadores.

A partir del año 2006, la Revolución Cubana inició una serie de programas abarcando todas las esferas de la sociedad. En los mismos comenzó a desarrollar la investigación de otras fuentes de energía como la eólica, la solar y la hidráulica; con el objetivo de reducir las pérdidas financieras. Además se llevó a cabo en la parte educativa el Programa de Ahorro Energético en Cuba (PAEC), con el fin de crear una conciencia de ahorro en la sociedad.

Además nuestro país realizó una serie de inversiones para la modernización de las termoeléctricas y la construcción de diferentes grupos electrógenos para abastecer a ciudades, poblados, industrias grandes y pequeñas, así como asegurar el suministro de energía a puntos vulnerables de la economía como hospitales, policlínicos, panaderías, centros de elaboración, bombeo de agua a la población, etc.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Como resultado de la Revolución Energética y los grandes esfuerzos de la Revolución Cubana, por obtener una sociedad con una mejor calidad de vida, se ha realizado un grupo de cambios en las redes de distribución debido a la entrega masiva de equipos más eficientes a la población, que incrementaron los consumos de energía eléctrica en horario pico, lo cual puede ser atenuado por la disminución de las pérdidas de energía en los circuitos de distribución. Estas inversiones se realizan con el propósito de garantizar un servicio eléctrico fiable y seguro.

En el año 1915 se fundó la Empresa Eléctrica del municipio Mayarí por Landa, López y Cía. En esta, existe una Unidad Empresarial Base (UEB), conformada por tres sucursales comerciales, Levisa, Guaro y Mayarí. En la misma se realizan las tareas de venta y compra de energía. También cuenta con un centro de operaciones donde se realiza el mantenimiento, reparación y control de redes eléctricas de media y baja tensión. Estos centros de operaciones representan una parte fundamental de la empresa en el funcionamiento de la sociedad actual en cualquier municipio o provincia.

Algunos circuitos de distribución secundaria del municipio Mayarí son casi primitivos, cuentan aún con el mismo transformador y conductor de hace muchos años, estos están muy deteriorados y no cumplen con las normas vigentes establecidas en nuestro país. Por esto se llegó a la siguiente **Situación Problemática:**

Debido a una incorrecta distribución de las cargas y al deterioro de las líneas del circuito de distribución secundaria MB-64 del municipio Mayarí, la caída de tensión y las pérdidas de potencia están por encima de los niveles admisibles, lo que hace necesario un estudio para modificar y mejorar estos niveles.

Teniendo en cuenta la situación problemática el autor decidió trabajar en el siguiente **Problema de Investigación:**

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

¿Cómo reducir la caída de tensión y las pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundaria MB-64 del municipio Mayarí?

Y teniendo como **Objeto de Estudio:**

Circuito secundario de distribución urbana MB-64 del municipio Mayarí.

Quedando dentro del siguiente **Campo de Acción:**

Eficiencia energética en el uso de la energía eléctrica.

Y en virtud de la solución de las dificultades detectadas se planteó la siguiente **Hipótesis:**

Con la determinación de la caída de tensión y pérdidas de potencia en este circuito de distribución secundaria se proyectan diferentes circuitos donde se proponen mejoras en la calidad del servicio y las pérdidas.

Teniendo en cuenta el problema y la hipótesis, se elaboró el siguiente **Objetivo General:**

Determinar la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito secundario de distribución urbana MB-64 del municipio Mayarí.

Del cual se derivaron los siguientes **Objetivos específicos:**

- Analizar las bibliografías existentes que aborden el tema a tratar.
- Realizar un levantamiento del circuito.
- Calcular la caída de tensión y las pérdidas de potencia.
- Evaluar y proponer la división y cambio de calibre del circuito de distribución secundaria MB-64.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundaria MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

- Analizar los resultados de la propuesta para mejorar el MB-64.

Y buscando centrar el trabajo en lo que necesitamos se elaboraron las siguientes

Tareas de Trabajo:

- Realizar el levantamiento del circuito seleccionado.
- Evaluar el estado actual del circuito.
- Determinar la caída de tensión y las pérdidas en el circuito.
- Proponer mejoras para el circuito
- Analizar los resultados obtenidos.

A modo de exposición mencionaremos los **Métodos de la investigación** utilizados para la realización de este trabajo:

- Método de investigación documental y bibliográfica: para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el trabajo a realizar con el objeto de estudio.
- Método de investigación Experimental: para describir y caracterizar el objeto de estudio.
- Análisis y Síntesis: para el análisis del comportamiento de las redes de distribución secundarias en el circuito MB-64 del Municipio de Mayarí, el estudio de los antecedentes y los trabajos realizados anteriormente en función del mejoramiento en la evaluación de las cargas y disminución de las pérdidas de energía en el mismo.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza un análisis de los diferentes aspectos relacionados con las pérdidas técnicas en los circuitos secundarios y los diferentes enfoques para su cálculo, para disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo.

Además, se establece el Marco Teórico-Metodológico de la investigación, a partir del estado del arte del tema, basado en el análisis de los trabajos precedentes, la metodología seguida para su ejecución, y la base teórica que sustenta la investigación.

1.2 Análisis Bibliográfico de Trabajos Precedentes

Para la confección y realización de este Trabajo de Diploma investigativo, se analizaron diversos materiales relacionados con circuitos de distribución de la energía eléctrica, como fueron Tesis, libros, materiales facilitados por la Organización Básica Eléctrica (OBE) del municipio de Mayarí, así como en Internet, los cuales de alguna manera reflejan contenido esencial acerca de la reducción de pérdidas de energía eléctrica en los circuitos de distribución secundaria.

En Ballesteros y Souza [2011], se aborda sobre un proyecto en el que se busca el balance de cargas en los circuitos de distribución secundarios, a nivel de casas. Para ello se programan cinco algoritmos de balance de cargas y se comparan sus resultados tomando diferentes criterios como son la media de carga en las fases en el tiempo, la desviación standard, cantidad de conmutaciones entre las fases en un periodo de tiempo determinado. Es necesario todo este análisis para desarrollar el trabajo con circuitos de distribución secundaria, pero no se aborda sobre las pérdidas ni la caída de tensión en las líneas de dichos circuitos.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Según Short [2006], las pérdidas de energía del transformador constituyen un importante criterio para la compra de estos y una porción apreciable de las pérdidas totales del sistema de suministro. Las pérdidas sin carga para los transformadores modernos con núcleo de acero al silicio promedian aproximadamente 0,2% de la potencia del transformador (un transformador típico de 50 kVA tiene pérdidas sin carga de 100 W), y los diseños varían desde 0,15 a 0,4% en dependencia de las necesidades del sistema de alimentación.

Las pérdidas sin carga también se llaman pérdidas del hierro o pérdidas del núcleo porque principalmente son una función de los materiales del núcleo. Los dos componentes fundamentales de las pérdidas sin carga son las corrientes parásitas y la histéresis. La histéresis describe la memoria de un material magnético.

Los metales amorfos del núcleo reducen las pérdidas de núcleo significativamente a valores tan bajos como un cuarto de las pérdidas de núcleo de acero al silicio; en el orden de 0,005 a 0,01% de la potencia del transformador. Los núcleos amorfos no tienen una estructura cristalina como los núcleos de acero al silicio; sus átomos de hierro son distribuidos de manera aleatoria. Los materiales amorfos son fabricados mediante un enfriamiento muy rápido de una aleación fundida, para que los cristales no tengan oportunidad de formarse. Tales materiales del núcleo tienen bajas pérdidas por histéresis.

Los transformadores de núcleo amorfo son más grandes para los mismos kVA de potencia y tienen los costos iniciales mayores. Los intentos para reducir las pérdidas con carga tienden a aumentar las pérdidas sin carga y viceversa. Por ejemplo, una mayor área de la sección transversal del núcleo disminuye las pérdidas sin carga (la densidad del flujo en el núcleo es menor); sin embargo, esto requiere mayores pérdidas de carga RI^2 en los conductores del enrollado.

Este estudio es necesario para trazar las políticas de desarrollo futuro de las redes de distribución secundarias y sobre todo de los transformadores de distribución, con el objetivo de reducir al mínimo las pérdidas de distribución, pero no profundiza en el cálculo de las pérdidas en las redes secundarias propiamente dichas.

En Targosz et. al. [2005], consideran que es posible lograr una apreciable reducción de las pérdidas eléctricas con la utilización de los transformadores de alta eficiencia; pero dicho estudio no hace referencia a la posibilidad de lograr la reducción de las pérdidas en los transformadores de distribución ni profundiza en las pérdidas en las redes.

En Almenares [2011], se hace un análisis de varios métodos, modelos matemáticos y metodologías, con diferente nivel de exigencias en cuanto a la cantidad de datos que se utilizan para el cálculo de pérdidas de potencia y energía en redes de distribución secundarias.

Se realiza un análisis de las diversas formas en que se puede resolver el compromiso entre la fiabilidad y la credibilidad de los resultados del cálculo de pérdidas en redes secundarias y las exigencias de tiempo y recursos para la obtención y procesamiento de los datos necesarios para la ejecución de los cálculos. Pero no aborda sobre la caída de tensión al final de las líneas ni se profundiza en estos cálculos.

En Feodorov [1982], se presenta una metodología para el cálculo de pérdidas de potencia y energía destinadas fundamentalmente a redes de distribución secundaria de empresas industriales, que aunque puede aplicarse a redes de distribución generales presenta peculiaridades que dificulta su aplicación.

En de la Fe [2004], se explica detalladamente la metodología para estudios de flujo de potencia según Ardrvinson, esta metodología ha sido muy usada para el cálculo de

pérdidas en redes de diversos niveles de voltaje. Tiene como ventaja que al asumir una serie de simplificaciones conlleva al ahorro de tiempo y a la disminución de la laboriosidad del trabajo de cálculo de las pérdidas y caídas de tensión de las redes de distribución, a la vez que garantiza la fiabilidad de los resultados.

En Ramírez [2011], se desarrollan tanto los métodos clásicos de cálculo de pérdidas de potencia y energía como una metodología simplificada para la evaluación de estas en redes de distribución primaria y secundaria. Este autor también aborda criterios de evaluación de pérdidas de energía, específicamente en el segmento de redes secundarias, sobre esto plantea que es el nivel de voltaje donde mayores son las pérdidas técnicas de energía colocando en 1.5% los niveles de pérdidas en estas redes como deseables y señalando como tolerables niveles de pérdidas de hasta un 3%, lo que sitúa este segmento en el 18% del total de las pérdidas del sistema de distribución.

En Pérez y Reyes [2008], se realiza un análisis de la cargabilidad de los transformadores en la ciudad de Holguín y se establecen los criterios para la selección de la potencia máxima promedio por clientes para definir la carga máxima a que están sometidos los transformadores de distribución. Este trabajo es de suma importancia ya que la potencia máxima del banco de transformadores define la carga de los circuitos secundarios y a su vez las pérdidas que ocurren en las mismas. Aporta elementos para el cálculo de las pérdidas de energía, a través del análisis de las curvas de cargas reales de una gran cantidad de transformadores de distribución.

Metodología UNE: la Unión Nacional Eléctrica estableció una metodología para el cálculo de las pérdidas de energía en las redes de distribución con el objetivo de establecer criterios uniformes para todas las empresas eléctricas del país. Esta metodología, en particular los modelos y métodos de cálculo de las pérdidas de

potencia y energía en las redes de distribución secundarias serán ampliamente abordados y aplicados en el presente trabajo.

La sistematización de las fuentes bibliográficas posibilitó la apropiación de un aparato teórico conceptual necesario para el proceso investigativo, además de constatar que los estudios realizados se limitan a la pérdidas en los transformadores, mientras no se profundiza en las pérdidas de distribución secundarias, cuestión de vital importancia para contribuir a la eficiencia energética que demanda el país en las circunstancias actuales.

1.3 Sistema Electroenergético Nacional

El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) en el 2015 le brindaba servicio a un total de 13.8 millones de habitantes. La electrificación abarca el 97% del país. Para esto, la Unión Eléctrica dispone de 14 Centrales Eléctricas principales, casi 7 mil kilómetros de Líneas de Transmisión de Alto Voltaje, más de 80 mil kilómetros de Líneas de Distribución, 131 Subestaciones de Alto Voltaje, más de 2 100 Subestaciones de Distribución y más de 120 000 transformadores de distribución.

Adicionalmente a las características anteriores, los Sistemas Eléctricos tienen las siguientes peculiaridades: Sus instalaciones son tecnológicamente complejas y de muy alto costo, por lo general requieren áreas extensas, grandes volúmenes de agua, sistemas complementarios de seguridad tecnológica y para la protección del medio ambiente, adecuado diseño para condiciones naturales adversas y extremas, facilidades para el abastecimiento y almacenaje de combustibles. En el año 2015, en el país se estaban consumiendo aproximadamente 8.6 kWh por vivienda en el mes de julio, el cual fue el de mayor demanda ese año. [9]

Nota: esta información fue actualizada por la internet.

1.3.1 Cambios Realizados en los Circuitos de Distribución Urbana de la Provincia y el Municipio Mayarí

En nuestra provincia desde que comenzó el programa de rehabilitación de redes en el año 2005, se han ejecutado un total de 70858 acciones de un plan de 85455. Acciones que han sido muy importantes para la disminución de pérdidas en las redes eléctricas, mejorar el servicio a los clientes y fundamentalmente el ahorro de combustible. Entre estas acciones tenemos la reposición de shield en 54,868 km de líneas de 110 kV y 3.500 km en líneas de 33 kV, se han construido 13,84 km de líneas de 33 kV, 159.361 km de líneas de 13.2 kV y 42.617 km de líneas secundarias con 14622.0 kVA convertidos. Se realizó el cambio de calibre primario en 135.249 km de líneas de 33 kV, hubo reposición de neutro en 172.549 km y retiro de 182 drop out y 582 grampas en caliente. Además del cambio de 13039 postes primarios y 18880 postes secundarios. Hasta el 2016 la provincia ha instalado 21019 varillas de tierras, 473092 breakers, y 40861 grampas AMPACT, Se han instalado 194515 acometidas y se cambiaron 56734 metros contadores.

En nuestro municipio también se han llevado a cabo bastante de estas acciones, logrando éxitos y beneficios para el sistema. Ejemplo, Mayarí ha realizado un total de 7130 acciones ejecutadas entre las que figuran las siguientes. La reposición de 9,4 km de shield en líneas de 110 kV y 6 km en líneas de 33 kV, construcción de 59,953 km de líneas primarias y 3,749 km de líneas secundarias. Se realizó el cambio de calibre primario de 42,23 km, la conversión de 10113 kVA de y se repuso 31,905 km de neutro. Además se procedió a cambiar 1407 postes primarios, 2401 postes secundarios y se le realizó mantenimiento a 2760 bancos de transformadores con un balance de 672 transformadores. Se retiraron 58 abiertos de las líneas, se instalaron 3217 varillas de tierras, 520521 breakers, 2586 grampas AMPACT, se cambiaron 1586 pararrayos y 16443 acometidas. Como mejoras se realizaron 441 cambios de calibre secundario, se dividieron 321 circuitos secundarios con la

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

instalación de 321 transformadores. El cambio de 262 transformadores por otros de mayor capacidad, la reubicación de 168 transformadores al centro de carga, sustitución de 35 transformadores subcargados, cambio de 40 transformadores por mantenimiento y la eliminación de zonas de bajos voltajes de un total de 60.

Los datos aportados anteriormente muestran un conjunto de cambios en las redes eléctricas en el municipio Mayarí. A pesar de estas mejoras no se puede descuidar la continua vigilancia de los regímenes de operación lo cual constituye la principal acción preventiva para mantener la calidad en el servicio. [9]

1.4 Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía, obedecen a la ocurrencia de una serie de fenómenos, provocados por los parámetros que caracterizan a las redes y subestaciones, por las características de los materiales y equipos empleados, además de las condiciones de operación existentes en su entorno.

Clasificación

Las pérdidas de energía eléctrica se pueden clasificar en:

- Pérdidas Técnicas
- Pérdidas no Técnicas o Comerciales

1.4.1 Pérdidas Técnicas

Las pérdidas técnicas constituyen la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera, pero que sin embargo pueden ser reducidas a valores aceptables según planes establecidos para dicho efecto. Las pérdidas técnicas se presentan principalmente por la resistencia de los conductores que transportan la energía desde los lugares de generación hasta llegar a los consumidores.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Existen las pérdidas de transmisión de alto voltaje (efecto corona) y las pérdidas en las líneas de distribución (efecto joule) dentro de las ciudades, pueblos y áreas rurales (distribución primaria y secundaria), así como también pérdidas en los transformadores de las subestaciones y de distribución (pérdidas por corrientes parásitas e histéresis).

A partir de las curvas de carga de los componentes del sistema y las pérdidas de potencia se pueden estimar las pérdidas de energía. Para lograr esto, la información requerida es voluminosa y en muchos casos la empresa no la tiene disponible, lo cual dificulta en parte la realización de la determinación de las pérdidas técnicas, la información requerida debe incluir la descripción de la red.

1.4.1.1 Causas de las pérdidas Técnicas

a) Pérdidas por efecto Corona: La descarga de corona alrededor de una bobina de alta tensión.

El **efecto corona** es un fenómeno eléctrico que se produce en los conductores de las líneas de alta tensión y se manifiesta en forma de halo luminoso a su alrededor. Dado que los conductores suelen ser de sección circular, el halo adopta una forma de corona, de ahí el nombre del fenómeno. El efecto corona está causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a los altos niveles de tensión de la línea. En el momento que las moléculas de aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte de los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación producirá un incremento de temperatura en el gas, que se tornará de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos. La intensidad del efecto corona, por lo tanto, se puede cuantificar según el color del halo, que será rojizo en aquellos casos leves y azulado para los más severos.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

b) Pérdidas por efecto Joule

Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor isotérmico, hay una generación de calor. Este efecto ocurre debido a la transferencia de energía eléctrica a través del conductor por un proceso análogo al rozamiento.

La ley de Joule enuncia que:

El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente.

$$Q = I^2 * R * t \quad (\text{Watts}) \quad (1.1)$$

Las pérdidas por efecto joule se manifiestan principalmente en:

- Calentamiento de Cables.
- Calentamiento de bobinas de los transformadores de distribución.

c) Pérdidas por Corrientes Parásitas e Histéresis

Existe una potencia que sirve exclusivamente para magnetizar el núcleo de los transformadores, esta potencia no tiene otra aplicación práctica, por lo que se considera como pérdida en la imantación del núcleo del transformador y es llamada pérdidas por histéresis. Por otra parte los equipos eléctricos están formados por pedazos de conductor que se mueven en un campo magnético o están situados en un campo magnético variable, dando lugar a corrientes inducidas que circulan por el volumen del conductor, estas corrientes se denominan de Foucault y son corrientes que generan pérdidas.

Según su variación

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Pérdidas fijas: son aquellas cuyas variaciones dependen en un segundo orden de la demanda, a tal punto de considerarles fijas, así tenemos:

- Pérdidas por Efecto Corona.
- Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas.

Pérdidas variables: son aquellas que dependen de la variación de la demanda, así tenemos:

- Pérdidas por Efecto Joule.

1.4.1.2 Factores que inciden en las pérdidas técnicas

De estudios realizados sobre pérdidas de energía a empresas eléctricas, se ha tenido como resultado que en la parte de distribución y concretamente la que corresponde a baja tensión es donde se tiene el mayor porcentaje de pérdidas debido a factores que influyen en estas y se muestran en la figura 1.3.

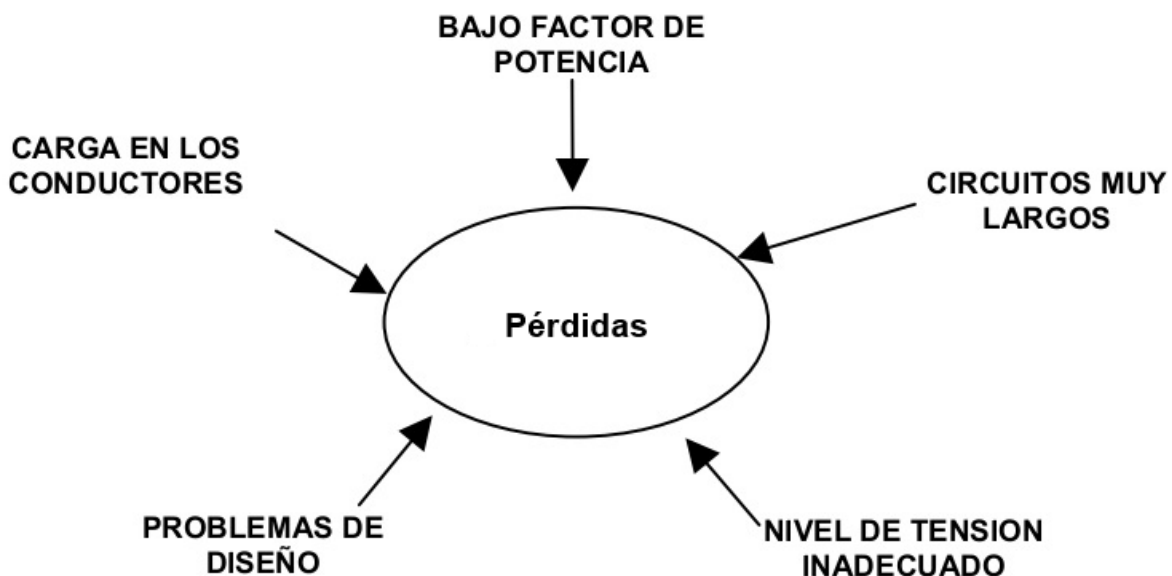


Figura 1.1: Factores que inciden en las pérdidas técnicas.

Estos factores inciden en las pérdidas y cabe señalar que al reducir las pérdidas en distribución se descargará todo el resto del sistema de transporte de esta energía.

1.4.2 Pérdidas no Técnicas o Comerciales

Las empresas deben llevar registros precisos de la energía que se genera y suministra a los usuarios a fin de cobrar la energía que estos consumen, pero por ciertas razones no se tiende a falsear en la exactitud de los registros de los consumos, lo cual representa pérdidas para la Empresa. Así la diferencia entre la energía que fue entregada a los usuarios y la energía facturada por la empresa determina las pérdidas totales, que incluye las pérdidas originadas por la distribución y no las técnicas.

Entre las pérdidas técnicas y las no técnicas se tiene una diferencia fundamental que a continuación exponemos:

Las pérdidas técnicas representan un verdadero detrimento de energía desde el punto de vista físico; es energía que no puede ser utilizada de ninguna manera y cualquier medida que permita reducirla representa un beneficio para la empresa.

Las pérdidas no técnicas por otra parte representan la energía que está siendo utilizada para algún fin, pero por la cual la empresa no recibe pago alguno. Para las finanzas de la empresa esto es un perjuicio. Se puede ver que las pérdidas no técnicas se producen básicamente por el robo de energía y por deficiencias administrativas, algunos ejemplos de deficiencias administrativas y legales son:

- Clientes conectados al sistema legalmente, pero que no se les cobra puesto que no están incluidos en el sistema de facturación.

- Clientes con medidores defectuosos que no han sido reemplazados porque no se tienen repuestos, personal disponible o vehículos.
- Clientes que están subfacturados porque la instalación no es correcta o porque la empresa no les ha colocado el medidor (**Acometida sin medidor (Empate directo)**)
- Errores de precisión en los medidores y en los procedimientos de información (**Mediciones y lecturas inexactas**).

En cuanto al robo, estos se pueden agrupar en dos clases.

- Los clientes que roban energía reducen el consumo que se les factura mensualmente.
- Los clientes roban energía debido a que la misma no está disponible para ellos en forma legal por falta de una campaña de comercialización adecuada. [7]

1.5 Conclusiones

Durante el desarrollo del presente capítulo se llegó a la conclusión siguiente:

- Al realizar un análisis de los trabajos precedentes acerca del tema a tratar, se determinó que la mayoría de la literatura existente no beneficia el trabajo con pérdidas de energía eléctrica en circuitos de distribución secundaria.
- Se explicó de manera detallada todo lo referido a las pérdidas de energía en los sistemas de distribución, tanto primarios como secundarios.

CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES (Determinación de la Caída de Tensión y Pérdidas de Potencia del Circuito MB-64)

2.1 Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo básico, realizar el cálculo de la caída de tensión y de las pérdidas de potencia en el circuito seleccionado. Comenzaremos este con una exposición de ecuaciones con las que se realiza el cálculo manual. Luego mostraremos el método que utilizaremos en este trabajo de diploma. Después del levantamiento del circuito secundario con las cargas realizaremos una revisión del estado del mismo, además servirán de apoyo los proyectos realizados por los Ingenieros del departamento de Ingeniería en Distribución, para obtener la información deseada acerca de los parámetros eléctricos del sistema para la realización del cálculo. Terminaremos haciendo una propuesta de mejoras para el circuito.

2.2 Exposición de las Ecuaciones para el Cálculo Manual

Para el desarrollo del cálculo se pueden utilizar las ecuaciones siguientes

$$\Delta V = \frac{\sum I * L}{K1} \quad (2.1)$$

Donde ΔV : es la caída de tensión al final de la línea,

$\sum I$: es la sumatoria de las corrientes en cada nodo,

L : es la distancia entre nodos,

$K1$: es un coeficiente del conductor, y se determina mediante unas tablas según el calibre, el material y los precios del conductor (estos datos fueron facilitados por el personal de ingeniería de proyecto).

$$X = \frac{\sum I^2 * L}{K2} \quad (2.2)$$

$\sum I^2$: es la sumatoria de los cuadrados de las corrientes en cada nodo,

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

K_2 : es un coeficiente del conductor, y se determina mediante unas tablas según el calibre, el material y el costo de los conductores.

$$\Delta P\% = \frac{\sum X}{\#_{vivienda} * VA * \cos \varphi} * 100\% \quad (2.3)$$

$\Delta P\%$: es el porcentaje de pérdidas al final de la línea,

$\cos \varphi$: es el factor de potencia según el tipo de circuito a calcular, en este caso es 0,9 por ser un circuito residencial,

$\#_{vivienda}$: es la cantidad de viviendas que hay en cada nodo,

VA : es la potencia aparente promedio consumida por cada vivienda, en este caso es 640 VA, determinado mediante un estudio realizado por el personal de inversiones de la empresa.

$$\%carga = \frac{\#_{vivienda} * VA}{S * 1000} \quad (1.4)$$

$\%carga$: es el porcentaje de carga del transformador,

S : es la potencia aparente del transformador.

2.3 Método para el Cálculo de la Caída de Tensión y las Pérdidas

Para el cálculo de la caída de tensión y las pérdidas de potencia usaremos una página en el Excel desarrollada para este cálculo. Fue realizado en Mayarí con el objetivo de facilitar el cálculo para la realización de un proyecto de mejoras en los circuitos de distribución.

El mismo utiliza las mismas ecuaciones mostradas anteriormente por lo que resulta sencillo el trabajo con este teniendo las longitudes entre cada nodo y la cantidad de viviendas por fase que se alimentan de estos, también se necesitan los valores de voltaje, potencia y factor de potencia de cada casa, estos valores fueron estandarizados en este tipo de circuito por el personal de inversiones, también se

necesitan los coeficientes ($K1$ y $K2$) , estos dependen del tipo de conductor que se utilice, teniendo en cuenta el calibre, el material y el precio del mismo, estos valores vienen estandarizados en unas tablas elaboradas por el personal de proyecto; al introducir todos estos datos, la tabla te muestra los valores de caída de tensión y pérdidas de potencia al final de la línea, en cada ramal que alimente el circuito secundario con un margen de error de centésimas, comprobado con un analizador de redes.

El personal de inversiones de la empresa realizó un levantamiento de carga instalada en todo el municipio y determinó que en cada vivienda se consume un promedio de 640 VA y se utiliza una tensión de 240 V, el factor de potencia está determinado por el tipo de carga, en este caso es residencial, por lo que es de 0.9, lo que quedó estandarizado para el cálculo en este proyecto de mejoras.

Tabla 2.1: Muestra de la tabla para el cálculo

Cálculo de Caída de Voltaje y Pérdidas

Proyecto: **Proyectos de Mejoras**

Transf. **MB-64**

Ramal: **1**

No	Distancia (m)	No de Viviendas	Potencia (VA)	Corriente (A)	Pérdidas (W)
1	80	2	1260	5.25	399.68
2	30	5	3150	13.13	172.30
3	80	11	6930	28.88	102.51
4	25	3	1890	7.88	1.45
5			0	0.00	0.00
6			0	0.00	0.00
7			0	0.00	0.00
8			0	0.00	0.00
9			0	0.00	0.00
10			0	0.00	0.00
Total	215	21	13230	55.125	399.68
Viv. Transf.		7			
DP=		2.26			
KVA=		35.28			

Voltaje	240
VA	630
Factor de Potencia	0.9
K1	1331
K2	1069.17

Caída Voltaje	6.79
Pérdidas	3.36

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Como se observa en la tabla, al introducir los datos obtenemos los valores de caída de voltaje y pérdidas en las líneas, además del ΔP del transformador y la potencia que se consume del mismo, con lo que determinamos el porcentaje de carga.

También son necesarias las tablas para determinar los coeficientes K1 y K2, las cuales serán mostradas a continuación:

Tabla 2.2: Cálculo de conductores secundarios de aluminio

Calibre			Capacidad en Amperes		$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$
AWG aprox	mm ²	CM	Con viento	Sin viento	Cos ϕ =0.9 1 ϕ	Cos ϕ =0.9 3 ϕ	Cos ϕ =0.8 1 ϕ	Cos ϕ =0.8 3 ϕ
2	35	69074	173	107	525.0	602.2	541.5	618.3
1/0	50	98678	206	128	664.0	759.8	672.0	765.0
2/0	70	138149	256	160	886.5	1011.6	872.0	989.6
3/0	95	187488	315	198	1152.5	1310.6	1101.0	1243.0
4/0	120	236827	361	256	1351.0	1532.0	1267.5	1426.6
	150	296033	423	299	1623.5	1832.5	1483.5	1659.9
					K1			

Tabla 2.3: Cálculo de conductores secundarios de cobre

Calibre			Capacidad en Amperes		$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$	$\frac{A * M}{V}$
AWG aprox.	mm ²	CM	Con viento	Sin viento	Cos ϕ =0.9 1 ϕ	Cos ϕ =0.9 3 ϕ	Cos ϕ =0.8 1 ϕ	Cos ϕ =0.8 3 ϕ
10	5.26	10380	43	60	154	178	172	194
8	8.37	16510	58	80	238	275	257	296
6	13.30	26250	79	110	364	419	385	442
4	21.20	41740	115	160	539	618	557	636

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

2	33.60	66370	160	220	790	903	792	901
1/0	53.50	105500	215	280	1127	1282	1087	1230
2/0	67.40	133100	250	320	1331	1509	1257	1417
3/0	85.00	167800	295	378	1556	1770	1439	1614
4/0	107.00	211600	348	438	1800	2024	1630	1820
		250000	388	488	2000	2246	1786	1992
					K1			

Tabla 2.4: Cálculo de constantes de pérdidas para conductores secundarios de Aluminio

Calibre		Carga 3Ø-S/N	Carga 3Ø-N	Cargas 1Ø-N2ØN balanceadas	Cargas 1Ø-2H
AWG	mm ²	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{3R_L}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{3R + R_n}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{2R_I + R_n}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{2R_I}$
2	35	363.90	272.92	363.90	545.85
1/0	50	476.19	331.56	431.71	714.28
2/0	70	672.04	415.97	524.10	1008.06
3/0	95	933.70	503.27	613.49	1400.56
4/0	120	1141.55	634.51	778.49	1712.32
	150	1468.42	724.11	866.55	2202.64
				K2	

Tabla 2.5: Cálculo de constantes de pérdidas para conductores secundarios de Cobre

Calibre		Carga 3Ø-S/N	Carga 3Ø-N	Cargas 1Ø-N2ØN balanceadas	Cargas 1Ø-2H
AWG	mm ²	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{3R_L}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{3R + R_n}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{2R_I + R_n}$	$\frac{A^2 M}{W} = \frac{I}{2R_I}$
10	5.26	—	—		—

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

8	8.37	—	—		—
6	13.30	234.24	175.68	234.24	351.37
4	21.20	367.30	241.22	308.83	550.96
2	33.60	578.70	379.43	485.55	868.05
1/0	53.50	920.04	601.35	768.87	1380.07
2/0	67.40	1163.46	818.46	1069.17	1745.20
3/0	85.00	1465.20	957.12	1223.54	2197.80
4/0	107.00	1821.49	1097.33	1373.03	2732.24
				K2	

Para el coeficiente K1, se busca el calibre que se desea probar en las filas y se hace coincidir con el servicio deseado en las columnas, el monofásico con factor de potencia 0.9, debido a que en este caso el circuito es 100 % residencial. Para el K2 se necesitan cargas monofásicas balanceadas, también se busca el calibre deseado en las filas y se hace coincidir con el tipo de carga que tenemos. Los coeficientes a buscar fueron marcados en amarillo para este trabajo de diploma.

2.4 Caracterización del circuito seleccionado

Para el estudio de cualquier circuito de distribución secundaria es importante en primer lugar conocer las características del circuito primario del cual se alimenta. Por ejemplo la tensión (U) es común para todos los circuitos secundarios incorporados. El caso que nos corresponde está constituido por el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí, el cual se encuentra incorporado al circuito primario Mayarí 1. En ambos casos tanto el primario como el secundario seleccionado son de gran complejidad debido a las dimensiones y a la estructura técnica de los mismos.

Después de los cambios realizados por la Revolución Energética en los circuitos de distribución, se aprecia un insuficiente reconocimiento del comportamiento energético

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

de estos sistemas. Esto depende fundamentalmente de la escasez de instrumentación sofisticada que permita realizar estudios representativos de la dinámica de explotación. Además, el cúmulo de trabajo de los especialistas de la empresa eléctrica, unido a los pocos cursos de capacitación recibidos impide la aplicación de los procedimientos y metodologías para identificar y solucionar las problemáticas existentes.

El circuito de distribución primaria del cual se alimenta el circuito secundario seleccionado se denomina Mayarí 1. El transformador que alimenta toda la carga es de 4 MVA con tensión en el primario de 33.5 kV y por el secundario es de 13.8 kV. La alimentación del primario se realiza desde la subestación de Nipe. Este transformador está ubicado a la salida de la ciudad. Este circuito está constituido por 45 Km de líneas de 125 mm². Posee un total de 157 bancos de transformadores para un total de 205 transformadores. [9]

2.4.1 Caracterización del objeto de estudio

El circuito de distribución seleccionado en este trabajo se alimenta del primario Mayarí 1, ya descrito de manera muy breve anteriormente. El circuito secundario de distribución urbana MB-64 del municipio Mayarí en la provincia Holguín, tiene unas 39 viviendas por el primario y unas 31 por el secundario, teniendo un total de 70 viviendas conectadas a un transformador de 50 kVA y quedando fuera unas 35 viviendas sin alimentar, de las cuales hay 28 en construcción, unas 4 recién concluidas y 3 que aún no hay nadie viviendo, lo que nos deja un total de 105 viviendas en el circuito. Con una longitud en las líneas de aproximadamente 430 m el circuito abarca las calles “Prolongación de Céspedes”, “Prolongación Antonio Guiteras” y “Prolongación Mastrapa”. Los conductores existentes son AAAC 70 mm².

2.5 Levantamiento y Análisis del Estado del Circuito Objeto de Estudio.

A continuación, mostraremos una representación gráfica del circuito secundario de distribución urbana MB-64 del Municipio Mayarí.

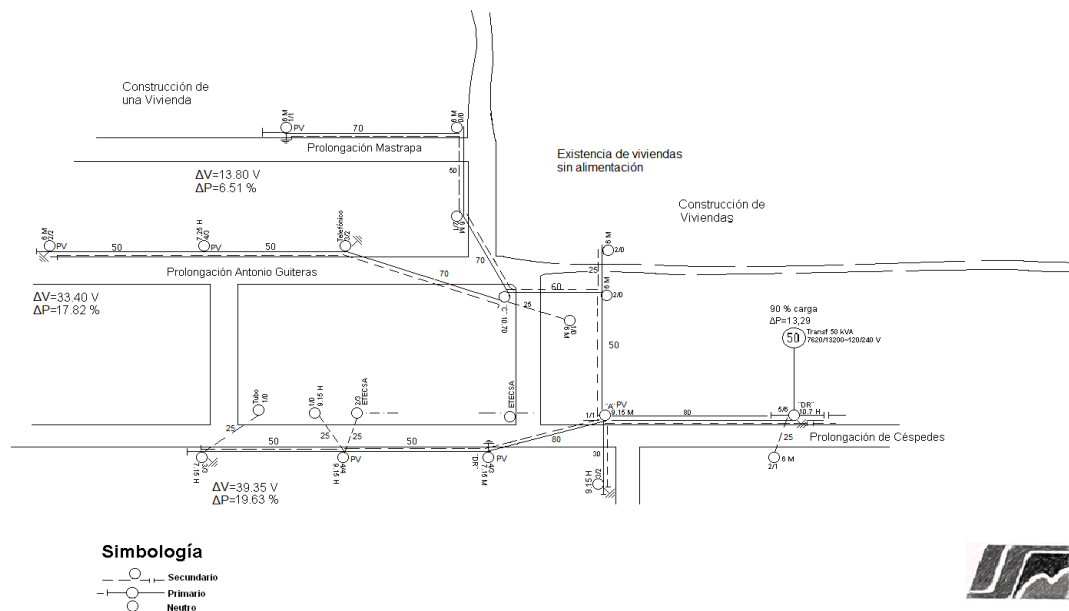


Figura 2.1: Esquema monolineal actual del circuito objeto de estudio.

Nota: para mejor visualización buscar Anexo 1.

El levantamiento se realizó por nodo, o sea, se realizó un conteo de viviendas conectadas por cada fase en cada poste. Además, se realizó una revisión del estado del circuito y el mismo se encuentra en un estado crítico, con conductores deteriorados, postes virados, e incluso con viviendas sin alimentación, que fueron construidas recientemente.

Al calcular la caída de tensión y las pérdidas en el circuito por el método explicado anteriormente, el resultado es muy elevado, en el primer ramal, la caída de tensión es de 39,35 V y las pérdidas de potencia son de un 19,63 % al final de la línea. En el segundo ramal también son muy altos estos valores. La caída de tensión es de 33,40 V y las pérdidas son de 17,82 % y en el tercer ramal la caída de tensión es de 13,80 V

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

y las pérdidas son de 6,51 %. El transformador está operando a un 90 % de su capacidad y el $\Delta P=13,29$ %. Estas pérdidas tan altas conllevan a que un gran número de clientes no tenga un buen servicio en el hogar, por lo que los equipos electrodomésticos no funcionan correctamente, además de dañar los equipos, lo que hace necesario un reajuste del circuito con el fin de reducir las mismas.

Tenemos aquí un aproximado de 14,65 % de pérdidas, lo que nos deja con unos 0.1465 kVAh de pérdidas, teniendo con esto unos 0,13185 kWh, estas son ínfimas con respecto al primario, y a su vez, las del primario son pequeñas con respecto a las del municipio, a las de la provincia y a las del país en general, pero para reducir las pérdidas en general, debemos comenzar por los de más abajo, o sea, por los secundarios.

2.6 Procedimientos a Tener en Cuenta para el Reajuste del Circuito

Existen procedimientos que regulan los montajes de transformadores, la altura de los conductores, si es para el primario o el secundario. Son necesarias estructuras de 10,70 m para el anclaje del transformador debido a que estos se alimentan de 19,1 kV, 13,2 kV y 4,16 kV con el primario, que tiene una altura mayor que el secundario. Para las líneas secundarias es más económico usar postes de 9,15 m porque su costo es menor. También hay que tener en cuenta que los transformadores no deben quedar en postes donde se hagan ángulos con las líneas. Debemos percatarnos que ningún ramal del circuito exceda los 400 m.

2.7 Exposición de las Distintas Variantes para Mejorar el Circuito

Calculamos varias variantes para obtener el mejor resultado, logrando así una disminución considerable en las pérdidas, tanto técnicas como no técnicas, a un costo lo más económico posible, e intentando todo el tiempo brindar un servicio fiable y seguro.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

En todas las variantes se buscó colocar los transformadores en el centro de carga, intentando reducir la caída de voltaje en cada ramal del mismo.

2.7.1 Primera Variante

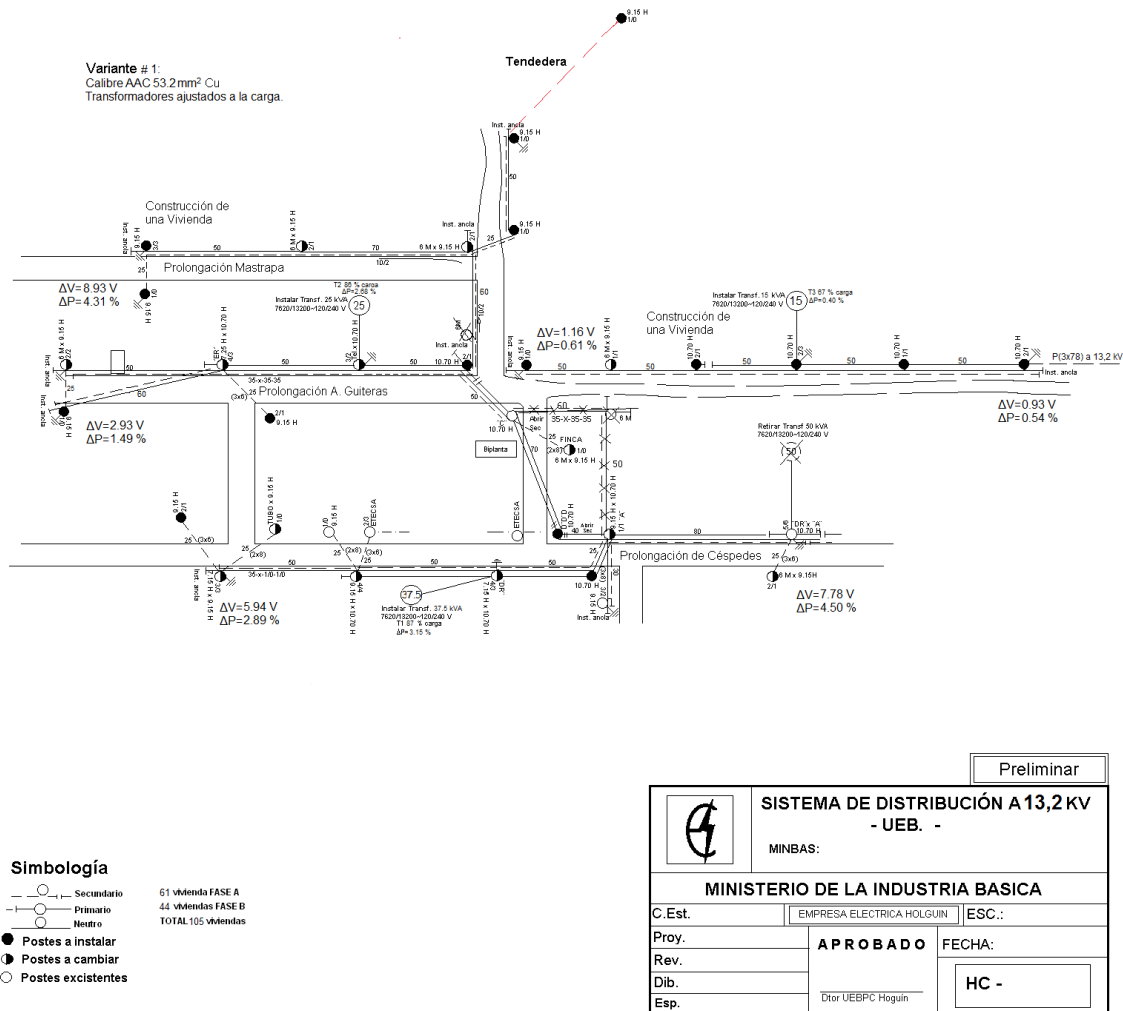


Figura 2.2: Esquema monolineal de la primera variante para mejoras.

Nota: para mejor visualización buscar Anexo 2.

En la primera variante utilizamos un conductor de calibre AAC 53,4 mm² de cobre, y los transformadores ajustados a la carga. Para entender esto explicaremos con detalles cada transformador.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

El primer transformador, o sea, el T1, lo seleccionamos teniendo en cuenta la potencia utilizada, en este caso utilizaría unos 32,76 kVA, por esto lo seleccionamos de 37.5 kVA, por lo que nos quedaría operando al 87 % de su capacidad y con un $\Delta P=3.15$ %; las caídas de voltaje y las pérdidas al final de la línea fueron reducidas considerablemente.

El segundo transformador, T2, utilizaría unos 21.42 kVA, este lo seleccionamos de 25 kVA, entonces quedaría operando al 86 % de su capacidad y con un $\Delta P=2.68$ %, y al igual que en el T1, la caída de voltaje y las pérdidas al final de las líneas fueron reducidas notablemente.

Para el tercer transformador, T3, se utilizarían uno 10.08 kVA, por lo que seleccionamos el mismo de 15 kVA y quedaría operando al 67 % de su capacidad, con un $\Delta P=0.40$ %. Este transformador está en una línea propuesta para alimentar viviendas que no estaban alimentadas, por lo que no podemos comparar las pérdidas en las líneas, a pesar de esto, son muy pequeñas. A este transformador se le agregarán más viviendas en el futuro, pues se le agregarán del circuito contiguo.

Nota: la segunda variante será explicada en el epígrafe 2.8, pues fue la seleccionada como propuesta de mejoras.

2.7.2 Tercera Variante.

Para esta tercera variante utilizamos un conductor de calibre AAC 85 mm² de cobre, y los transformadores subcargados, teniendo en cuenta que este circuito es netamente residencial.

Para el primer transformador, T1, utilizamos uno de 50 kVA, a pesar de que se utilizaría solo unos 32,76 kVA, pues a pesar del cálculo, en los circuitos residenciales pueden variar mucho las cargas, por ejemplo, si los clientes comienzan a utilizar sus equipos electrodomésticos todos a la vez, el consumo se va por encima de la potencia

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

del transformador y podría reducir el tiempo de vida útil del mismo e incluso hasta dañarlo al punto que no se pueda recuperar. Por este motivo lo dejamos a un 66 % de su capacidad y teniendo un $\Delta P=1.98\%$. Con respecto al calibre, podemos observar que este reduce la caída de voltaje y las pérdidas un poco más que en la primera variante, pero es un conductor más caro.

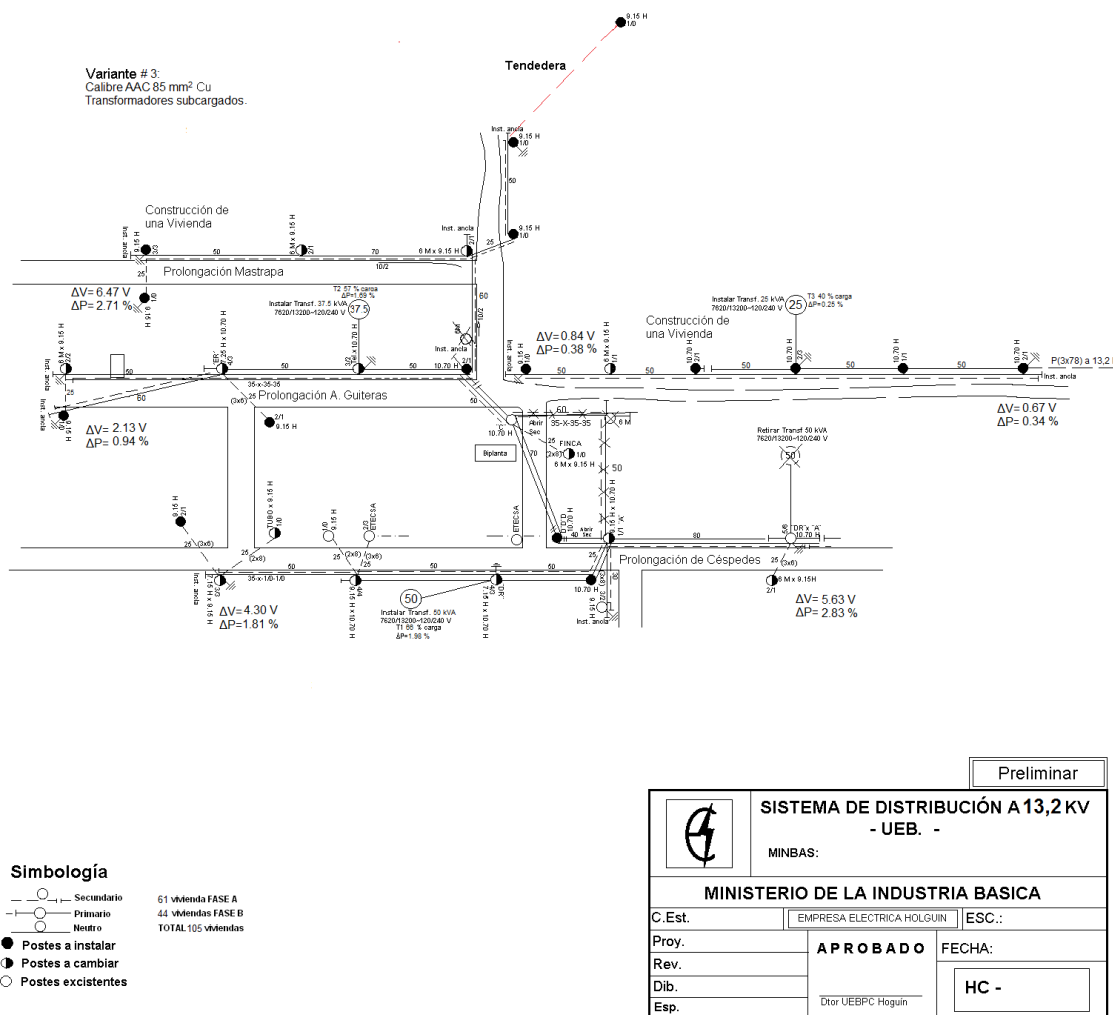


Figura 2.3: Esquema monolineal de la tercera variante.

Nota: para mejor visualización buscar Anexo 4.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

El segundo transformador, T2, se propuso de 37.5 kVA y utilizaría solamente unos 21.42 kVA, pero teniendo en cuenta lo explicado anteriormente se deja a un 57 % de su capacidad y con un $\Delta P=1.69$ %. Este transformador queda demasiado subcargado, lo que dejaría un factor de pérdidas tanto técnicas como no técnicas en él.

El tercer transformador, T3, estará operando a un 40 % de su capacidad, utilizando solo unos 10.08 kVA de un transformador de 25 kVA, y con un $\Delta P=0.25$ %. Debido a que a este transformador se le agregarán más viviendas en el futuro, la capacidad utilizada que proponemos es baja.

2.7.3 Cuarta Variante.

Para esta cuarta variante utilizamos un conductor de calibre AAAC 70 mm² de aluminio, y los transformadores un poco por encima de la carga. En esta variante debemos hacer énfasis en la caída de voltaje y las pérdidas al final de las líneas, pues, aunque el conductor es más económico, las pérdidas son un poco altas, pues los coeficientes K1 y K2 de este conductor son muy pequeños.

Teniendo en cuenta esto, el primer transformador, T1, tendría un $\Delta P=4.62$ %, que, propuesto a 50 kVA, estaría utilizando unos 32.76 kVA y estaría al 66 % de su capacidad. Al final del primer ramal tendríamos una $\Delta V=7.55$ V y unas $\Delta P=4.24$ % y al final del segundo ramal tendríamos una $\Delta V=9.89$ V y unas $\Delta P=6.60$ %, son valores un poco altos, pero permisibles.

El segundo transformador, T2, tendría un $\Delta P=3.94$ y estaría utilizando unos 21.42 kVA de un transformador de 25 kVA, operando así al 86 % de su capacidad. El primer ramal de este tendría una $\Delta V=3.73$ V y unas $\Delta P=2.19$ %, y el segundo ramal una $\Delta V=11.36$ V y unas $\Delta P=6.32$ %, siendo estos unos valores muy altos.

Y en el tercer transformador, T3, tendríamos un $\Delta P=0.58$ %, con unos 25 kVA, estaría usando solo unos 10.08 kVA, estando a un 40 % de su capacidad. En su primer ramal tendríamos una $\Delta V=1.48$ V y unas $\Delta P=0.89$, mientras que en el segundo ramal

tendríamos una $\Delta V = 1.18 \text{ V}$ y unas $\Delta P = 0.79 \%$, sin tener en cuenta las viviendas que serán agregadas en el futuro.

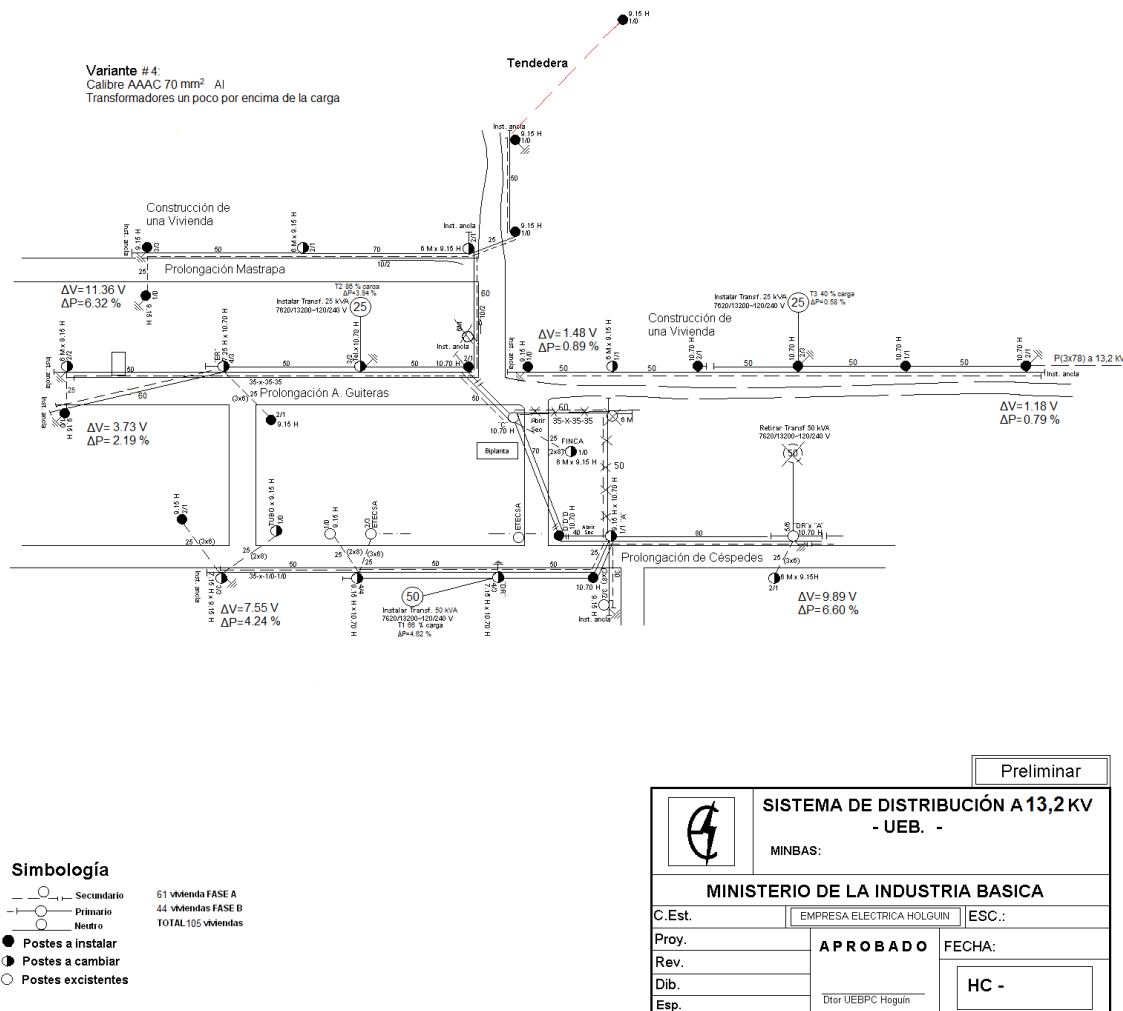


Figura 2.4: Esquema monolineal de la cuarta variante.

Nota: para mejor visualización buscar Anexo 5.

2.8 Propuesta de Mejoras para el Circuito Objeto de Estudio

Al calcular las distintas variantes optamos por tomar la segunda, pues es la que brinda una mayor reducción de las pérdidas, tanto técnicas como no técnicas, al precio más económico posible. Para comenzar con la explicación tenemos que aclarar que

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

proponemos la reubicación del transformador hacia otro nodo, además de la instalación de dos nuevos transformadores, buscando que queden en el centro de carga y que no excedan los 400 m en cualquier ramal de cada transformador, porque sería demasiado grande la caída de voltaje y, por cuanto, también las pérdidas.

A continuación, mostraremos un esquema mucho más detallado de la variante seleccionada, proponiendo las mejoras para reducir la caída de voltaje y las pérdidas de potencia en el circuito, y que, al realizar el cálculo, es prácticamente ideal.

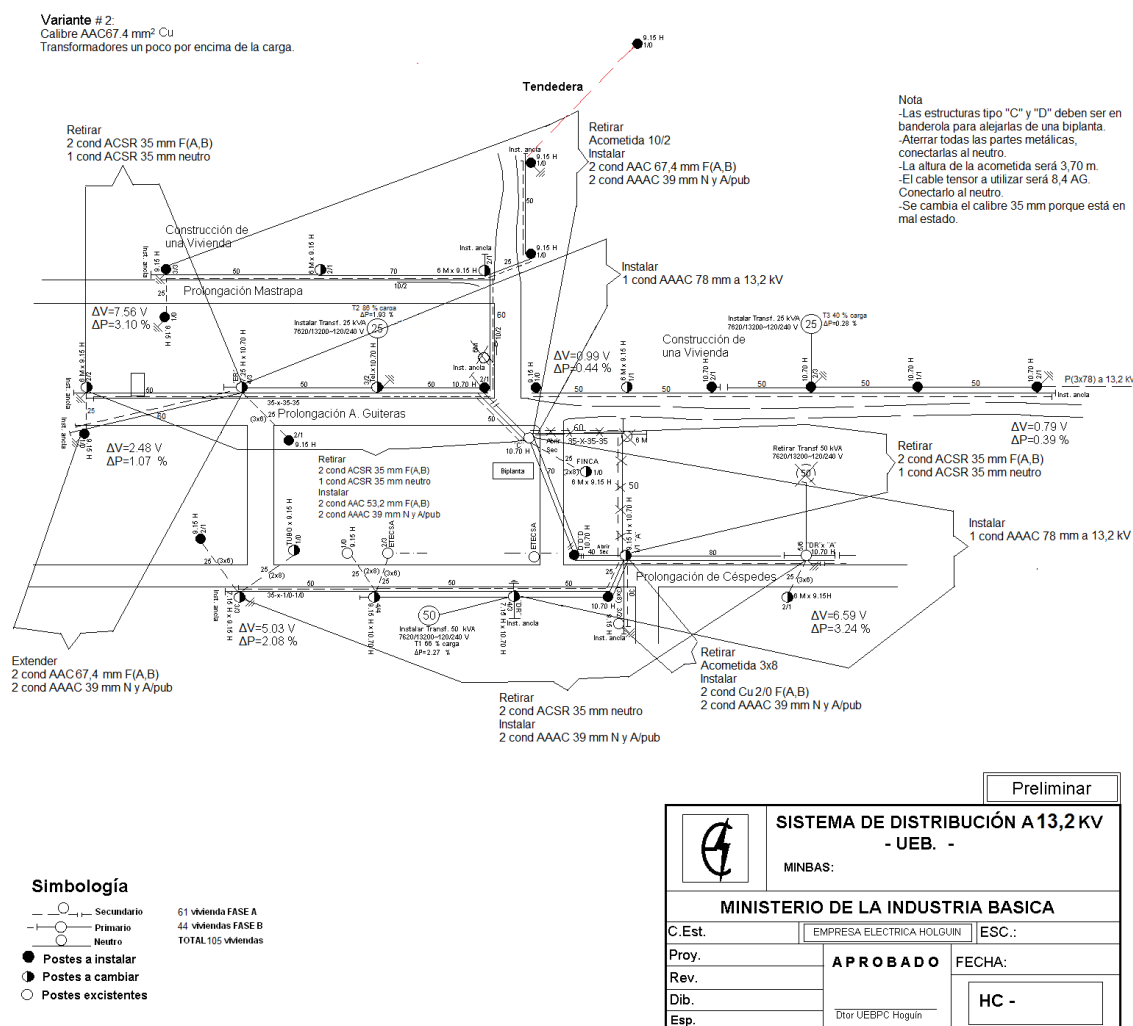


Figura 2.5: Esquema monolineal de la segunda variante.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Nota: para mejor visualización buscar Anexo 2.

También propusimos un cambio de calibre de los conductores, con el objetivo de reducir la caída de tensión; y un cambio de tipo de estructuras, para llevar el primario a la nueva posición de los transformadores, además de que estas están viradas. Además, propusimos la instalación de nuevos postes para alimentar viviendas nuevas que se han construido y están sin alimentación.

El calibre de conductor propuesto es AAC 67,4 mm² para el secundario, para el neutro y el alumbrado público es de AAAC 39 mm² y de AAAC 78 mm² para el primario, para que reduzca notablemente las pérdidas con un costo lo más económico posible. Los postes de hormigón 10,70 propuestos son necesarios para las líneas primarias por su altura, y los 9,15 para cuando solo está el secundario.

El primer transformador, o sea, el T1, operará al 66 % de su capacidad de carga, o sea, usará unos 32,76 kVA y un $\Delta P=2.27$ %, la caída de tensión en el prime ramal de este será de 5,03 V y las pérdidas de 2,08 % al final de la línea y en el segundo ramal serán de 6,59 V y las pérdidas de 3,24 %.

El T2 con un 86 % de carga, unos 21,42 kVA y un $\Delta P=1,93$ %, en el primer ramal tendremos una caída de tensión de 2,48 V y las pérdidas de 1,07 % mientras que en el segundo ramal nos quedarán unos 7,56 V de caída de tensión y un 3,10 % de pérdidas.

El T3 solo usa 40 % de carga, 10,08 kVA y un $\Delta P: 0.28$ %, el primario para alimentar este transformador se extenderá del circuito MB-647, además de agregarle unas viviendas que están alimentadas con una tendedera de este. Quedando en el primer ramal de este una caída de tensión de 0,99 V y unas pérdidas de potencia de 0,44 %, mientras que el otro ramal tendrá unos 0,79 V de caída de tensión y un 0,39 % de pérdidas de potencia, sin tener en cuenta las otras viviendas que se le agregarán en el futuro.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Tendríamos al final un 1,72 % de pérdidas de potencia, estas serían equivalentes a unos 0,0172 kVA, lo que nos dejaría con unos 0,01548 kWh, con lo que podríamos determinar que se redujeron en unos 0,11637 kWh.

2.9 Conclusiones

Durante el desarrollo del presente capítulo se realizó un análisis de las diferentes variantes calculadas para la determinación de la mejor propuesta de mejoras:

- Al realizar el levantamiento del circuito se detectaron problemas en el mismo.
- Se concluyó que las pérdidas del circuito en el año 2015 eran de aproximadamente unos 0,135 kW/h.
- Se logró reducir las pérdidas a un valor de 0,01548 kWh con la propuesta seleccionada.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y VALORACIÓN ECONÓMICA.

3.1 Introducción.

Una vez propuestas las mejoras del circuito es importante analizar si los resultados obtenidos son realmente mejores tanto para la economía como para la disminución de pérdidas energéticas del país. También es importante realizar una valoración económica de este proyecto de mejoras para el circuito secundario de distribución MB-64. Se partirá del análisis de cada variante calculada y se proseguirá con la valoración económica de cada uno. Luego se analizará el seleccionado como mejor propuesta y se calculará el rango del proyecto para el futuro. También se tendrá en cuenta el impacto medioambiental del mismo.

3.2 Metodología para el Cálculo Técnico Económico del Proyecto

La confiabilidad del Sistema Electroenergético Nacional, ocupa una parte importante de las redes eléctricas, de ahí la necesidad de elegir variantes de esquemas de la red en proceso de proyección, así como los regímenes de explotación partiendo del criterio de racionalidad económica y garantía del suministro eléctrico.

Para la selección de la variante óptima se realiza de acuerdo a su sustitución recíproca, es decir, las variantes comparadas según los índices económicos realizados deben poseer el mismo grado de confiabilidad y calidad de la energía.

Entre los métodos que existen para comparar alternativas de inversión están.

- Método del Valor Actual Neto (**VAN**).
- Método de la Tasa Interna de Retorno (**TIR**).
- Tiempo de Recuperación de las Inversiones o Tiempo de Amortización (**Ta**)

3.4.1 Valor Actual Neto.

Es un método para evaluar las propuestas de inversión de capital, la obtención del valor presente de los flujos netos de efectivos en el futuro, descontando el costo del capital de la empresa o la tasa de requerimiento requerida.

Para la implementación de este método se procede de la siguiente manera:

- Encuéntrese el valor presente de cada flujo de efectivo, incluyendo tanto los flujos de entrada como los de salida, descontando el costo de capital del proyecto.
- Súmense estos flujos de efectivos descontados.
- Si el VAN es positivo, el proyecto debería ser aceptado, mientras que si es negativo debe ser rechazado. Si los todos los proyectos son igualmente excedentes aquel que tenga el VAN más alto deberá ser elegido, siempre y cuando sea positivo.

Expresándose de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (3.1)$$

V_t → Flujos de caja en cada período t.

I_0 → Valor del desembolso inicial de la inversión.

n → Número de períodos considerado.

k → Tipo de interés.

3.4.2 Tasa Interna de Retorno.

La TIR se calcula en esencia igual que el VAN, la única diferencia es que se estiman tasas de actualización a que el VAN es igual a cero en un proceso de actualizaciones sucesivas. El procedimiento general consiste en utilizar aquellas tasas de

actualización que aproximen lo más posible el VAN a cero, hasta llegar a que este sea negativo. Los resultados positivos nos indican que el proyecto puede ser ejecutado desde el punto de vista económico, a mayor TIR mayor rentabilidad. Expresándose de la siguiente manera:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (3.2)$$

Dónde:

F_t → Flujo de caja en el período t.

n → Número de períodos.

I_0 → Valor de la inversión inicial.

3.4.3 Tiempo de recuperación de las inversiones (T_a).

Método utilizado para la comparación económica de variantes de inversión y significa el tiempo en que la inversión se amortiza.

Normalmente en la energética se considera variante con factibilidad de aplicación, aquellas que posean el T_a inferior a 3 años. En caso de comparación de variantes mutuamente excluyente, posee ventajas la variante que tenga menor tiempo de amortización.

El tiempo de amortización se calcula como la relación entre el costo de la inversión (CF_0) y la diferencia entre los costos de explotación antes y después de la inversión en el período de un año, o sea los ahorros obtenidos por la inversión en el período (CF_1).

Es fácil de ser aplicada para aquellas inversiones que traen consigo ahorros anuales fijos a partir de su ejecución, lo que ocurre en las variantes utilizadas, por tanto:

$$Ta = \frac{CF_0}{CF_1} (\text{años}) \quad (3.7)$$

Dónde:

$CF_0 \rightarrow$ Costo de la inversión (Pesos)

$CF_1 \rightarrow$ Ahorro provocado por la inversión durante el 1^{er} año de explotación (Pesos/años).

3.3 Análisis y Valoración Económica de Cada Variante como Propuesta de Mejoras.

El petróleo es el producto más comercializado a nivel mundial. Tanto en término como en volumen representa el 36 % del balance total de energía. El consumo mundial de petróleo que ha tenido tendencia a crecer, trae consigo un aumento de los precios a niveles nunca antes vistos con un récord de \$147,27 USD por barril. Aunque la crisis financiera de Occidente, los gastos militares norteamericanos y la ambición de los especuladores en las bolsas, ha ocasionado un descenso del crudo en más del 50 %.

Luego de haber realizado el cálculo de cada variante en el capítulo anterior, se hace necesario llevar a cabo un análisis de los resultados de cada una por separado, además de una valoración económica, para poder llegar a una conclusión precisa y determinar realmente la mejor de estas.

Para el análisis de todas las variantes se tienen en cuenta los siguientes datos:

- 1 barril = 158,9 Litros = 73,10 USD
- 7,5 barril = 1 Tonelada = 4.000 kWh = \$548,25 USD
- 250g/kWh = 0,00025 t/kWh = \$7,30 USD
- 1 KWh = \$7,30 USD

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

- Los precios de los materiales fueron proporcionados por el Departamento de Contabilidad de la UEB Mayarí.

3.3.1 Análisis y Valoración Económica de la Primera Variante.

Con el cálculo de la primera variante obtuvimos una disminución notable de la caída de voltaje y de las pérdidas de potencia, pero los transformadores seleccionados están ajustados a la carga, que, en un circuito residencial, es necesario dejar un margen de error mucho mayor, debido a que en estos, varían mucho las cargas.

Para comenzar con la valoración económica, vamos a mostrar una tabla con algunos detalles de cómo deberá ser la inversión para el proyecto.

Tabla 3.1 Inversión en recursos para la propuesta de la primera variante.

Recursos	Cantidad	Precio Unitario (MN)	Valor total (MN)
Transformador de 15 kVA	1	\$620,93	\$620,93
Transformador de 25 kVA	1	\$865,94	\$865,94
Transformador de 37,5 kVA	1	\$895,96	\$895,96
Transformador de 50 kVA	0	\$927,97	\$0,00
Pararrayos de 12 kV y 10 kV	3	\$96,75	\$290,25
Droup-out 15 kW 100 A C-21	4	\$63,89	\$255,56
Conductores AAC 83 mm ²	200	\$4,02	\$804,00
Conductores AAAC 39,25 mm ²	170	\$4,70	\$799,00
Conductores AAAC 78,75 mm ²	78	\$6,04	\$471,12
Conectores	1,25	\$209,00	\$260,24
Aisladores	105	\$2,05	\$215,70
Postes 9,15 m	15	\$152,07	\$2.281,05
Postes 10,70 m	12	\$254,89	\$3.058,68
Clavos, tornillos y otros materiales	1812	_Varía_	\$3.043,57
Valor de recursos Materiales	-	-	\$13.862,00
Transporte y uso de equipos	12	\$42,11	\$505,35

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Salario y seguridad social	10	\$231,84	\$2.318,43
Costo de ejecución			\$16.685,78
Valor de recursos recuperados			\$4.134,37
Costo total de la variante			\$12.551,41

Según la tabla anterior, se necesitarían invertir unos \$16.685,78 CUP en materiales, o sea, postes, transformadores, conductores, pararrayos, conectores, aisladores, así como en transporte, salarios y todo lo necesario para este proyecto de mejoras al circuito objeto de estudio; esto equivaldría a \$667,43 USD. También se podrá conseguir una suma de \$4.134,37 CUP vendiendo los materiales retirados a materias primas, que serían equivalentes a \$165,38 USD. Quedándonos un costo total de \$12.551,41 CUP, que serían unos \$502,06 USD de inversión en el proyecto.

Las pérdidas serían reducidas a un 2,39%, lo que dejaría al mismo con unos 0,0239 kVAh de pérdidas, teniendo esto, llegaríamos a determinar que las pérdidas se reducen de 0,13185 kWh a 0,02151 kWh, con lo que determinaríamos que las pérdidas se reducirían en 0,11034 kWh, lo que al año serían unos 966,5784 kWh.

Esto supondría un ahorro en la empresa eléctrica de \$2.846,16 CUP, suma que equivale a \$113,85 USD, y teniendo en cuenta que con una tonelada de crudo se pueden producir 4.000 kWh, podríamos ahorrarnos unos \$132,41 USD en cada tonelada comprada por el país, puesto que se utilizarían unos 3033,42 kWh para abastecer la misma cantidad de viviendas con las que antes se utilizaban 4.000 kWh. Tendríamos al año una suma ahorrada de \$246,26 USD en el circuito.

Tabla 3.2 Valores económicos e inversión y ahorro de la primera variante.

Circuito	MB-64
Tasa	35%
Costo Inversión inicial	\$554,48 USD
Ahorro del 1er año	\$246,26 USD
Ahorro del 2do año	\$246,26 USD

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Ahorro del 3er año	\$246,26 USD
Ahorro del 4to año	\$246,26 USD
Ahorro del 5to año	\$246,26 USD
Ahorro del 6to año	\$246,26 USD
VAN	\$1.538,28 USD
Ta	2,25
Equivale en años a:	2 años y 3 meses

Como se observa en la tabla 3.2, tenemos un tiempo de amortización por debajo de lo aceptado en la energética cubana en ese criterio, por lo que económicamente, esta variante es factible. Debemos analizar también el VAN, que en este caso tiene un alto valor positivo.

3.3.2 Análisis y Valoración Económica de la Tercera Variante.

Mediante el cálculo de esta tercera variante logramos disminuir mucho más la caída de voltaje y las pérdidas de potencia al final de las líneas, y los transformadores tienen un margen de capacidad lo suficientemente amplio para atender un circuito netamente residencial.

Teniendo en cuenta esto, mostraremos la inversión que se deberá realizar para esta propuesta de mejoras mediante una tabla.

Tabla 3.3 Inversión en recursos para la propuesta de la tercera variante.

Recursos	Cantidad	Precio Unitario (MN)	Valor total (MN)
Transformador de 25 kVA	1	\$865,94	\$865,94
Transformador de 37,5 kVA	1	\$895,96	\$895,96
Transformador de 50 kVA	1	\$927,97	\$927,97
Pararrayos de 12 kV y 10 kV	3	\$96,75	\$290,25
Droup-out 15 kW 100 A C-21	4	\$63,89	\$255,56
Conductores AAC 83 mm ²	200	\$5,04	\$1.008,00
Conductores AAAC 39,25 mm ²	170	\$4,70	\$799,00

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Conductores AAAC 78,75 mm ²	78	\$6,04	\$471,12
Conectores	1,25	\$209,00	\$260,24
Aisladores	105	\$2,05	\$215,70
Postes 9,15 m	15	\$152,07	\$2.281,05
Postes 10,70 m	12	\$254,89	\$3.058,68
Clavos, tornillos y otros materiales	1812	_Varía_	\$3.043,57
Valor de recursos Materiales	-	-	\$14.373,04
Transporte y uso de equipos	12	\$42,11	\$505,35
Salario y seguridad social	10	\$231,84	\$2.318,43
Costo de ejecución			\$17.196,82
Valor de recursos recuperados			\$4.134,37
Costo total de la variante			\$13.062,45

Como se observa en la tabla se necesitaría invertir una suma de \$17.196,82 CUP en postes, transformadores, aisladores, conductores, pararrayos, conectores y todo lo necesario, esta suma equivaldría a \$687,87 USD. También se podrá conseguir una suma de \$4.134,37 CUP vendiendo los materiales del circuito que fueron retirados a materias primas, siendo esto equivalente a \$165,38 USD. Quedando un costo total para la inversión, aprovechando el dinero vendido a materias primas, de \$13.062,45 CUP, lo que sería equivalente a \$522,50 USD.

Se pudieran reducir las pérdidas a un 1,50 %, lo que nos daría 0,0135 kWh de pérdidas, con esto determinaríamos que las pérdidas se reducirían en un 0,11835 kWh, que al año vendrían siendo unos 1.036,75 kWh. Esto tendría un costo en la empresa eléctrica de \$5.482,24 CUP, que es equivalente a \$219,29 USD. También debemos tener en cuenta que se ahorraría unos \$142,02 USD en cada tonelada de crudo puesto que solo se usarían unos 2.963,25 kWh para abastecer la misma cantidad de viviendas con las que antes se utilizaban 4.000 kWh. Teniendo con esto una suma ahorrada al año de \$361,31 USD.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Tabla 3.4 Valores económicos e inversión y ahorro de la tercera variante.

Circuito	MB-64
tasa	35%
Costo Inversión inicial	\$522,50
Ahorro del 1er año	\$361,31
Ahorro del 2do año	\$361,31
Ahorro del 3er año	\$361,31
Ahorro del 4to año	\$361,31
Ahorro del 5to año	\$361,31
Ahorro del 6to año	\$361,31
VAN	\$2.087,06
Ta	1,45
Equivale en años a:	1 años y 5 meses

Como podemos observar en esta tabla, el tiempo de amortización es mucho menor para esta variante, lo que la hace más factible económicamente que la primera. Debemos también tener en cuenta que el valor del VAN, en esta variante, es mucho mayor que en la primera, por lo que se hace más factible que la anterior.

3.3.3 Análisis y Valoración Económica de la Cuarta Variante.

En esta cuarta variante, obtuvimos unas pérdidas mucho mayores que en todas las demás, por lo que solo haremos la valoración económica, intentando ver que tan útil resultaría.

Comenzaremos con una tabla mostrando la inversión necesaria para esta variante.

Tabla 3.5 Inversión en recursos para la propuesta de la cuarta variante.

Recursos	Cantidad	Precio Unitario (MN)	Valor total (MN)
Transformador de 25 kVA	2	\$865,94	\$1.731,88
Transformador de 50 kVA	1	\$927,97	\$927,97
Pararrayos de 12 kV y 10 kV	3	\$96,75	\$290,25
Droup-out 15 kW 100 A C-21	4	\$63,89	\$255,56
Conductores AAC 83 mm ²	200	\$2,86	\$572,00

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Conductores AAAC 39,25 mm ²	170	\$4,70	\$799,00
Conductores AAAC 78,75 mm ²	78	\$6,04	\$471,12
Conectores	1,25	\$209,00	\$260,24
Aisladores	105	\$2,05	\$215,70
Postes 9,15 m	15	\$152,07	\$2.281,05
Postes 10,70 m	12	\$254,89	\$3.058,68
Clavos, tornillos y otros materiales	1812	_Varía_	\$3.043,57
Valor de recursos Materiales	-	-	\$13.907,02
Transporte y uso de equipos	12	\$42,11	\$505,35
Salario y seguridad social	10	\$231,84	\$2.318,43
Costo de ejecución			\$16.730,80
Valor de recursos recuperados			\$4.134,37
Costo total de la variante			\$12.596,43

Observando la tabla anterior podemos apreciar que se necesitaría invertir una suma de \$16.730,80 CUP en postes, transformadores, aisladores, conductores, pararrayos, conectores, así como en transporte, salarios de los linieros y todo lo necesario para el proyecto, dinero equivalente a \$548,40 USD. También se podrá conseguir una suma de \$4.134,37 CUP vendiendo los materiales del circuito que fueron retirados a materias primas, lo que equivaldría a \$165,38 USD. Quedándonos al final un costo total de \$12.596,43 USD, que sería equivalente a \$503,86 USD.

Las pérdidas se reducirían a un 3,50 %, o sea, con esto tenemos unos 0,035 kVAh, lo que nos dejaría unos 0,0315 kWh, con esto tendríamos un ahorro de 0,10035 kWh, que al año vendrían siendo unos 879,066 kWh y teniendo un costo en la empresa eléctrica de \$2.671,13 CUP, que es equivalente a \$106,85 USD. También debemos tener en cuenta que se ahorrarían unos \$120,42 USD en cada tonelada de crudo puesto que solo se usarían unos 3.120,93 kWh para abastecer la misma

cantidad de viviendas con las que antes se utilizaban 4.000 kWh. Alcanzando al final del año una suma total de \$227,27 USD ahorrados.

Tabla 3.6 Valores económicos e inversión y ahorro de la cuarta variante.

Circuito	MB-64
tasa	35%
Costo Inversión inicial	\$503,86
Ahorro del 1er año	\$227,27
Ahorro del 2do año	\$227,27
Ahorro del 3er año	\$227,27
Ahorro del 4to año	\$227,27
Ahorro del 5to año	\$227,27
Ahorro del 6to año	\$227,27
VAN	\$1.427,55
Ta	2,22
Equivale en años a:	2 años y 2 meses

Al analizar la tabla anterior llegamos a la conclusión de que esta variante posee el valor de VAN más bajo, sin embargo, el Ta es menor que en la primera variante, no obstante, se recomienda no utilizarla para el proyecto, pues la reducción de pérdidas de esta variante no es óptima al compararla con las demás.

3.4 Análisis y Valoración Económica de la Variante Seleccionado como Proyecto de Mejoras.

Para comenzar con este análisis debemos comparar este con las demás variantes, para llegar a una conclusión. Teniendo en cuenta la primera variante, esta sí cumple con el margen que deben tener los transformadores, las pérdidas son menores que en la primera, según estos aspectos es mejor no usar la primera.

Con respecto a la tercera variante, se podría decir que es la "variante optimista", tiene las menores pérdidas y los transformadores tienen un margen casi mayor que el necesario. Sin embargo, el transformador dos queda prácticamente subcargado,

con un 57 % de carga, incluso a plena carga del circuito no se utiliza todo su potencial, lo que pudiera tener un porcentaje de pérdidas en este.

Para la valoración económica debemos tener en cuenta el costo del combustible crudo a nivel internacional, que en estos momentos es de \$548,25 USD la tonelada, y debemos también conocer que con una tonelada se producen unos 4.000 kWh. Nos quedaría a unos \$7,30 USD el kWh.

Debemos también medir el rango de la inversión, para calcular las variables económicas del proyecto y determinar si es rentable o no. Mostraremos los datos de la inversión mediante una tabla para facilitar su comprensión.

Tabla 3.7 Valores económicos e inversión y ahorro de la segunda variante.

Recursos	Cantidad	Precio Unitario (MN)	Valor total (MN)
Transformador de 25 kVA	2	\$865,94	\$1.731,88
Transformador de 50 kVA	1	\$927,97	\$927,97
Pararrayos de 12 kV y 10 kV	3	\$96,75	\$290,25
Droup-out 15 kW 100 A C-21	4	\$63,89	\$255,56
Conductores AAC 83 mm ²	200	\$4,82	\$964,00
Conductores AAAC 39,25 mm ²	170	\$4,70	\$799,00
Conductores AAAC 78,75 mm ²	78	\$6,04	\$471,12
Conectores	1,25	\$209,00	\$260,24
Aisladores	105	\$2,05	\$215,70
Postes 9,15 m	15	\$152,07	\$2.281,05
Postes 10,70 m	12	\$254,89	\$3.058,68
Clavos, tornillos y otros materiales	1812	_Varía_	\$3.043,57
Valor de recursos Materiales	-	-	\$14.299,02
Transporte y uso de equipos	12	\$42,11	\$505,35
Salario y seguridad social	10	\$231,84	\$2.318,43
Costo de ejecución	-	-	\$17.122,80
Valor de recursos recuperados	-	-	\$4.134,37

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Costo total de la variante	-	-	\$12.988,43
-----------------------------------	---	---	--------------------

Observando la tabla anterior, nos damos cuenta que se necesitaría una suma de \$17.122,80 CUP para comprar los materiales necesarios, como son postes, transformadores, conductores, aisladores, conectores, pararrayos y otros más, siendo esta equivalente a unos \$684,91 USD. También se podrá conseguir una suma de \$4134,37 CUP vendiendo a materias primas los materiales retirados del circuito, esto sería equivalente a \$165,38 USD. Por lo que saldría la inversión en un costo total de \$12.988,43 CUP, con lo que tendríamos un equivalente a \$519,54 USD.

Luego de la división del circuito y del cambio de calibre, las pérdidas se reducirían a un 1,72 %, lo que dejaría al mismo con 0,0172 kVAh de pérdidas, teniendo esto, podríamos determinar que las pérdidas se reducirían de un 0,13185 kWh a un 0,01548 kWh, con lo que determinaríamos que se redujeron en unos 0,11637 kWh.

Con esta reducción de pérdidas de potencia lograríamos ahorrarnos unos 1.019,40 kWh al año, lo que en la empresa eléctrica serían unos \$5.430,02 CUP, que equivaldría a unos \$217,21 USD, también nos ahorraríamos una suma de \$139,64 USD en cada tonelada de crudo, pues se utilizarían solo unos 2.980,6 kWh para alimentar la misma cantidad de viviendas en las que antes se necesitaban 4.000 kWh. Anualmente tendríamos una suma de \$356,85 USD ahorrados.

Si lográsemos disminuir tan significativamente todos los circuitos secundarios, las pérdidas del primario serían insignificantes, y el país se ahorrarías de dólares al año.

Tabla 3.8 Valores económicos e inversión y ahorro de la segunda variante.

Circuito	MB-64
tasa	35%
Costo Inversión inicial	\$519,54
Ahorro del 1er año	\$356,85
Ahorro del 2do año	\$356,85

Ahorro del 3er año	\$356,85
Ahorro del 4to año	\$356,85
Ahorro del 5to año	\$356,85
Ahorro del 6to año	\$356,85
VAN	\$2.077,73
Ta	1,46
Equivale en años a:	1 años y 5 meses

Luego de calcular el VAN de esta variante, se determinó que es rentable realizar esta inversión. También según el Ta, que está por debajo de lo aceptado en la energética cubana en este criterio, con lo que logramos suplir la inversión en tan solo un año y 5 meses luego de realizar la división y cambio de calibre del circuito objeto de estudio. Resulta conveniente destacar que esta variante se asemeja bastante económicamente a la tercera en los valores del VAN y el Ta, pero esta es más eficaz debido a un transformador subcargado en la tercera variante del que hablamos anteriormente.

Siguiendo este mismo criterio y partiendo de la definición del TIR, se establece que no tiene sentido práctico el cálculo del mismo ya que los valores que se obtienen son muy altos como para compararlos con las demás variantes, y no sirven como criterio de comparación.

El TIR para tiempo de amortización muy bajo da valores muy elevados y su cálculo es especialmente complicado aunque facilita la comprensión del personal de dirección y del personal técnico no directo a la población.

3.5 Resumen del Proyecto de Mejoras Mediante Varias Variantes.

Para resumir, debemos aclarar que cada variante se realizó con el fin de disminuir las pérdidas del circuito y ahorrar dinero al país, intentando en todo momento desarrollar el trabajo con circuitos secundarios de distribución urbana.

Se seleccionó la segunda variante puesto que resultó la adecuada por la reducción de pérdidas en la misma, también por la capacidad de carga dejada en cada transformador, además de ahorrar una suma alta al país anualmente. Mostraremos los datos de la valoración económica en una tabla:

Tabla 3.9 Resumen de las variantes:

Variantes	Precio (USD/kW Generado)	Reducción de energía (kWh/año)	Valor recuperado por disminución de energía (USD/año)	Valor Actual Neto de cada variante (VAN)	Tiempo de Amortización (Ta)
Variante 1	\$7,30	966,5784	\$246,26	\$1.538,28	2,25
Variante 2	\$7,30	1.019,40	\$356,85	\$2.004,21	1,60
Variante 3	\$7,30	1.036,75	\$361,31	\$2.034,09	1,59
Variante 4	\$7,30	976,302	\$227,27	\$1.398,60	2,41

Como observamos en la tabla, la segunda y tercera variante son las más adecuadas para el proyecto, pero debido a otros factores explicados anteriormente, se seleccionó la segunda y no la tercera.

3.5 Impacto Medioambiental del Proyecto.

Es necesario calcular el rango de este proyecto, por lo que se hace necesario analizar el impacto que pudiera ocasionar estos cambios al medio ambiente.

La generación de energía eléctrica en el mundo entero sigue dependiendo en gran parte de la quema de combustibles fósiles --petróleo, gas y carbón-- que son sumamente contaminantes. Una de las amenazas más graves para el medio ambiente mundial procede de esta contaminación: las emisiones en rápido aumento de los denominados gases “de invernadero”, en especial el dióxido de carbono (CC2)

considerado por muchos científicos como el principal responsable del recalentamiento de la Tierra.

Aunque los gobiernos se han comprometido con la tendencia mundial hacia una reducción de las cantidades de CO₂ producidas por cada unidad de energía consumida, relativamente pocos países han logrado reducir la producción de gases de invernadero mediante el paso a los combustibles no fósiles.

Con la propuesta de nuestro trabajo en el municipio de Mayarí de la provincia Holguín, se dejan de expulsar al Medio Ambiente cerca de 11 toneladas de dióxido de carbono por el concepto de la disminución de las pérdidas técnicas en el circuito de distribución secundaria MB-64.

3.6 Conclusiones.

En este capítulo se realiza el análisis económico de la inversión para tener base a la hora de invertir. Encontrar el beneficio o ahorro que le imprime el diseño de la nueva línea al sistema

- Se realizó el análisis económico de cada una de las variantes, encontrando su beneficio con respecto a las pérdidas de energía eléctrica y el costo inicial de cada una de ellas.
- Se logró dejar de expulsar unas 11 toneladas de dióxido de carbono a la atmosfera.

CONCLUSIONES GENERALES.

- Se caracterizó el circuito objeto de estudio.
- Se determinó el nivel de las pérdidas técnicas actuales y posteriores de las variantes analizadas.
- Se logró reducir las pérdidas a un valor de 0,01548 kWh con la propuesta seleccionada.
- Se pudo determinar que la variante escogida es la más factible desde el punto de vista técnico-económico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de más estudios sobre circuitos secundarios, para ampliar los conocimientos sobre estos.
- Se recomienda utilizar este Trabajo de Diploma para futuros trabajos con circuitos secundarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. SHORT, THOMAS A. *Electric Power Distribution Equipment and Systems*. New York: Editorial Taylor & Francis Group, 2006.
2. TARGOSZ; et. al. *The Potential for Global Energy Savings from High Efficiency Distribution Transformers*. European Copper Institute, 2005.
3. FEODOROV, A. A. y EDUARDO RODRÍGUEZ. *Suministro eléctrico de empresas industriales*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1982.
4. DE LA FÉ DOTRES, S. *Redes de distribución de energía eléctrica*. Santiago de Cuba: Universidad de Oriente, 2004.
5. RAMÍREZ FIALLO, O. Modelación físico-matemática para el diagnóstico de grandes transformadores en tiempo real. Tesis Doctoral, Universidad de Holguín, Holguín, 2011.
6. PÉREZ MALIUK, I. Y BALBIS REYES Ge. "Modelo para la evaluación del régimen térmico de transformadores de distribución", 2008.
7. FERNÁNDEZ MARTÍN, GUSTAVO RAFAEL. Reducción de pérdidas eléctricas en el circuito de distribución primaria de Guerrita, municipio Mayarí. Trabajo de Diploma. ISMM. 2014.
8. BALLESTERO HORTA, ROBERTO LUÍZ. SOUZA GOMES, RAIMUNDO CLAUDIO. "Balance de Cargas en Circuitos Secundarios de Distribución", Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones (RILAC), 2011.
9. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, ADRIÁN. Estudio del Circuito de Distribución Secundario MB-62 del Municipio Mayarí. Trabajo de Diploma. ISMM. 2010.

Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

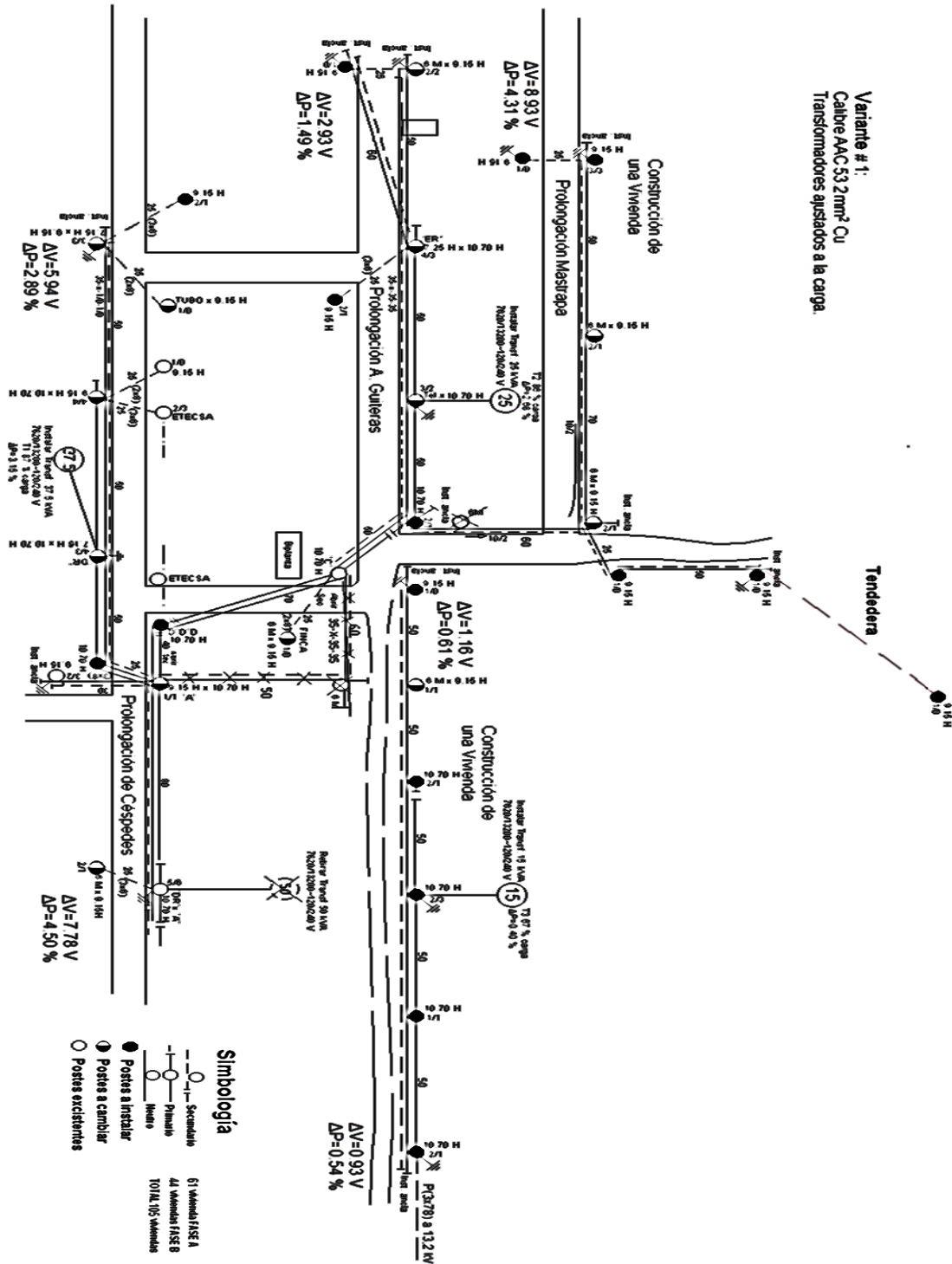
10. ALMARALES ALMARALES, LÁZARO GUSTAVO. Estudio de métodos y modelos para el cálculo de pérdidas técnicas en redes de distribución secundarias. Trabajo de diploma. ISMM. 2012.
11. ALMIRAL MESA, J. Temas de Ingeniería Eléctrica. Tomo I. Félix Varela. 2003.
12. ALMIRAL MESA, J. Temas de Ingeniería Eléctrica. Tomo II. Félix Varela. 2004.
13. CISNEROS VERDECIA R, RONDELL, P. Estudio para la disminución de las pérdidas eléctricas en el circuito # 1 de la UBE Moa. Trabajo de Diploma. ISMM 2007.
14. DURÁN SALGADO, C D. Mejoras en el circuito de distribución N^o 9 del municipio de Moa, Trabajo de Diploma. ISMM. 2010.
15. [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria eléctrica y electrónica/conductores eléctricos](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria%20el%C3%A9ctrica%20y%20electr%C3%B3nica/conductores%20el%C3%A9ctricos).
16. <http://www.globalsoluciones.cl>.
17. SÁNCHEZ CONCEPCIÓN, E.M. Conversión de tensión de distribución primaria en los circuitos Tj46 y Tj47 en la ciudad de Puerto Padre. Trabajo de Diploma. ISMM. 2003.
18. SÁNCHEZ SÁNCHEZ, W.O, MORALES SORIANO, K E. Identificación y control de pérdidas de energía en el sistema de distribución secundaria. Guayaquil– Ecuador.2000.
19. SUÁREZ GALINDO, D. Conversión de Tensión de 4.16/13.2 kV en los circuitos de distribución primaria de Mayarí. Trabajo de Diploma. ISMM. 2010.

20. IGLESIAS, H.D. y TANIDES C.G. Estimación del potencial de ahorro energético en los transformadores de distribución del sistema eléctrico argentino. *Revista Avances en energía Renovables y Medio Ambiente*, 2006.
21. IGLESIAS, H.D. y TANIDES C.G. Estimación del potencial de ahorro energético en los transformadores de distribución del sistema eléctrico argentino. *Revista Avances en energía Renovables y Medio Ambiente*, 2006.
22. VIEGO FELIPE, P.; et. al. *Ahorro de Energía en Sistemas de Suministro Eléctrico*. Cienfuegos: Editorial Universidad de Cienfuegos, 2005.
23. SAYAGO R. L., "Metodología de Cálculo de Pérdidas Técnicas en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica", Condensa S.A, 2007.

Autor: David José Beatón González



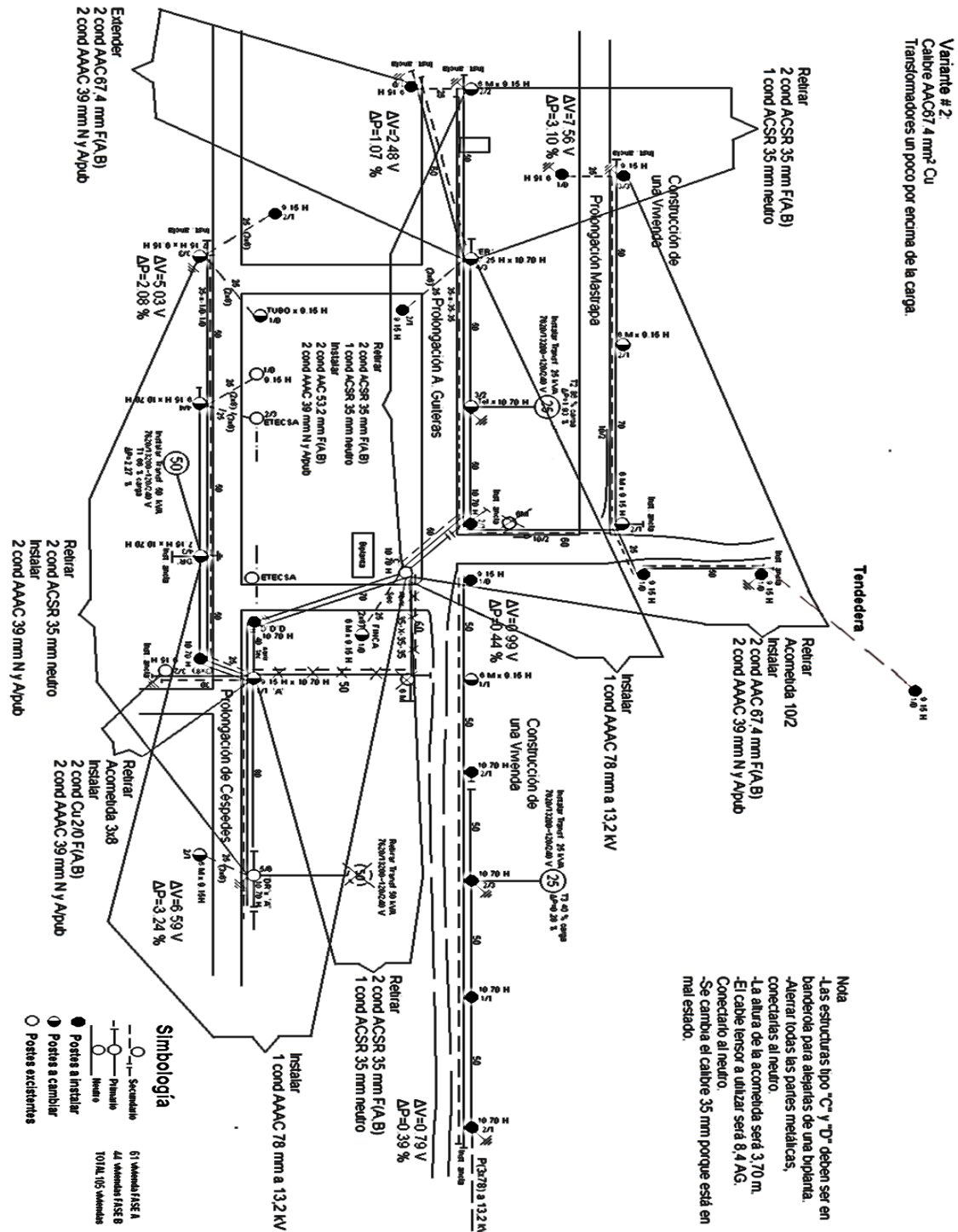
Anexo 2: Esquema monolineal de la primera variante.



Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

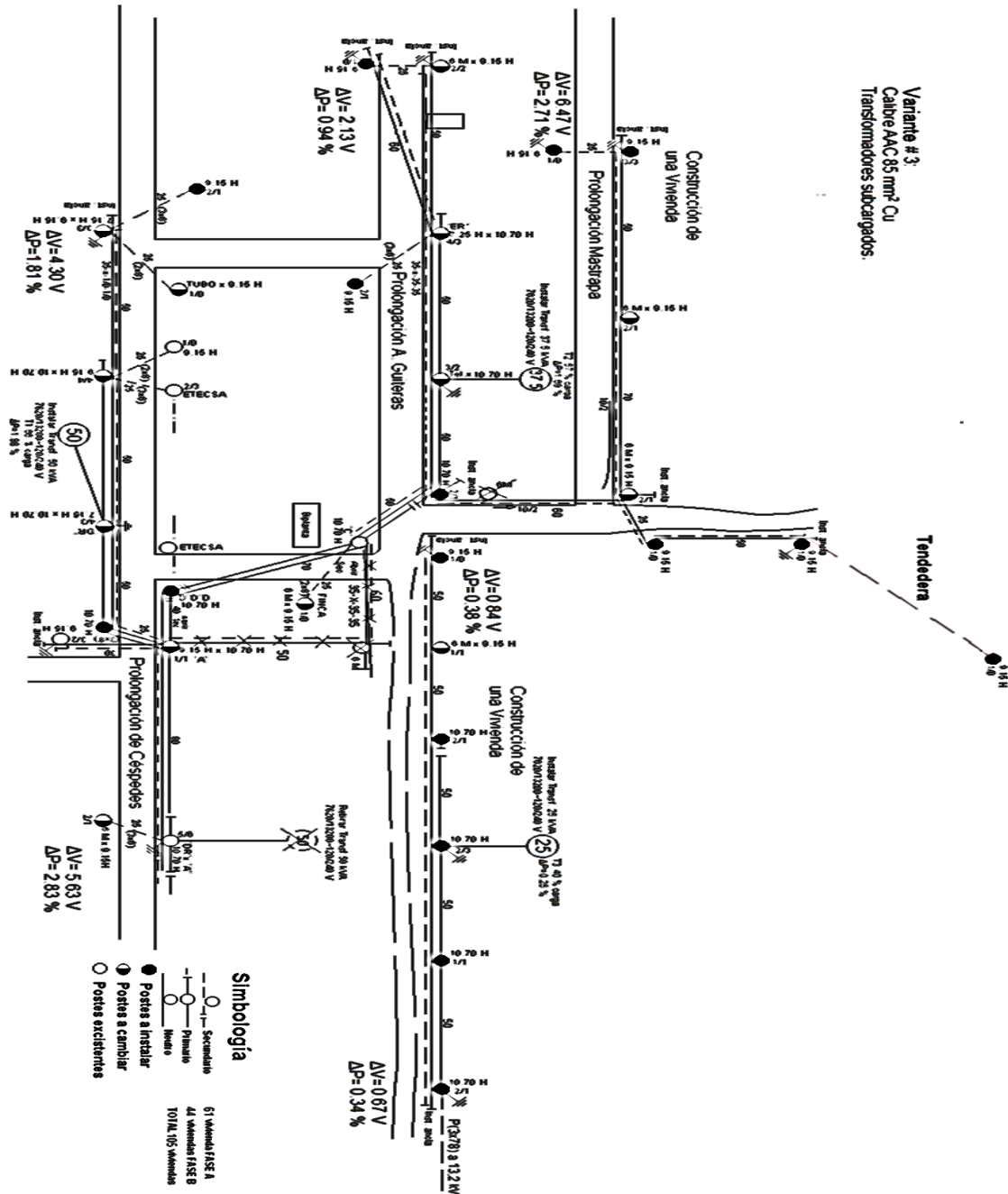
Anexo 3: Esquema monolineal de la segunda variante.



Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

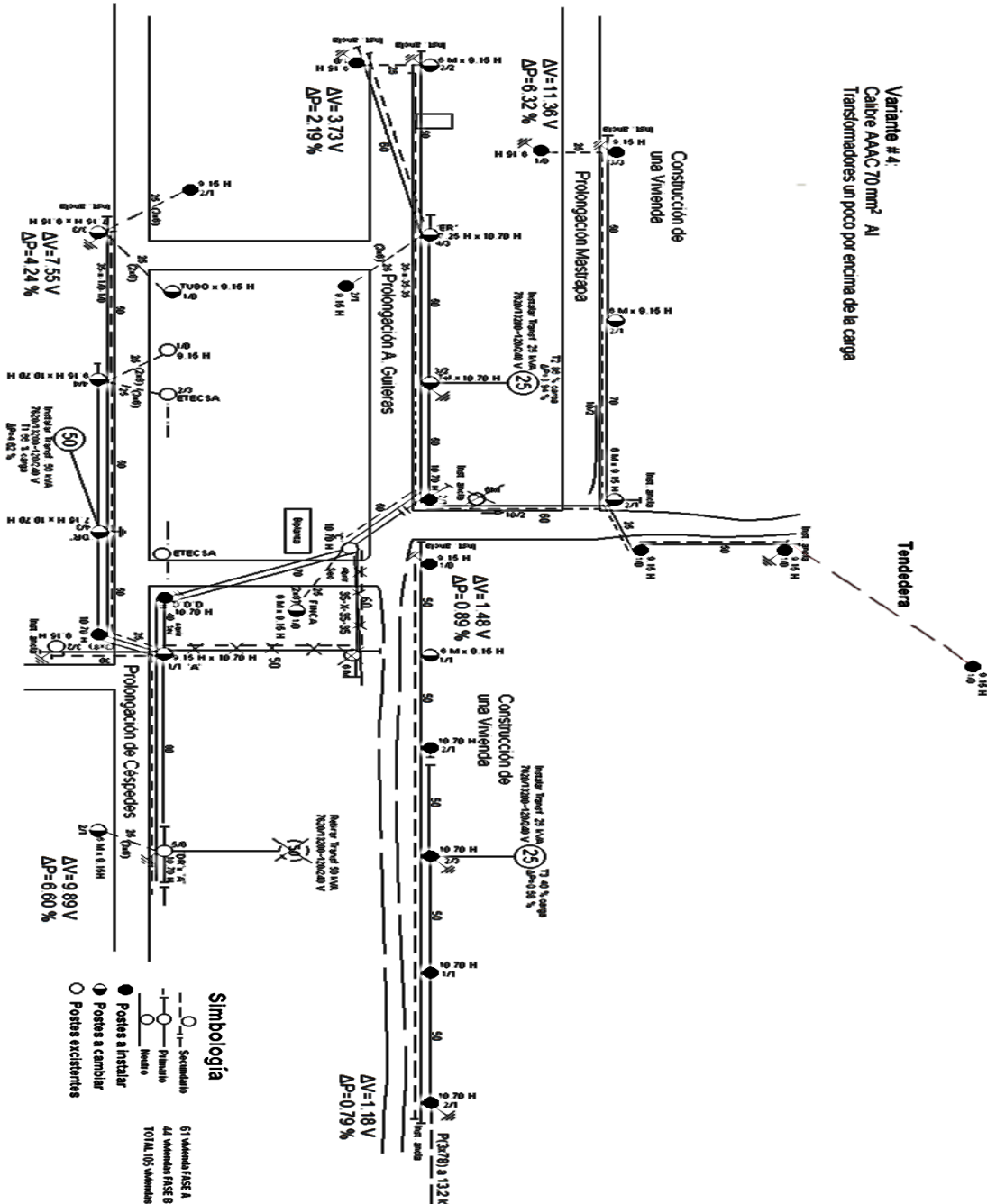
Anexo 4: Esquema monolineal de la tercera variante.



Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González

Anexo 5: Esquema monolineal de la cuarta variante.



Análisis del comportamiento de la caída de tensión y pérdidas de potencia en el circuito de distribución secundario MB-64 del municipio Mayarí.

Autor: David José Beatón González