



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BAJA
TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA 2 Y 3 DE CIUDAD DE
MIXCO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

José Antonio Hernández Delgado

Asesorado por el Msc. Ing. Hugo Rodas Marotta

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BAJA
TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA 2 Y 3 DE CIUDAD DE
MIXCO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ DELGADO
ASESORADO POR EL MSC. ING. HUGO RODAS MAROTTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Marvin Mariano Hernández Fernández
EXAMINADOR	Ing. Carlos Fernando Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi diseño de la investigación titulado:

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA 2 Y 3 DE CIUDAD DE MIXCO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 22 de enero de 2013.



José Antonio Hernández Delgado

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0004-2013

Guatemala, 22 de enero de 2013.

Director:
Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

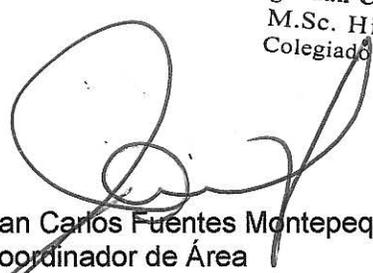
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **José Antonio Hernández Delgado** con carné número **2004-13050**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

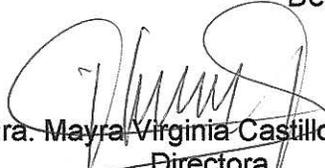
"Id y enseñad a todos"


Msc. Ing. Carlos Hugo Rodas M.
Asesor (a)


Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

Ing. Hugo Rodas Marotta
M. Sc. En I.O.
Colegiado No. 2,365


Dra. Mayra Virginia Castillo Montés
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de Graduación en la modalidad Estudios de Postgrado Titulado: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA 2 Y 3 DE CIUDAD DE MIXCO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA, presentado por el estudiante universitario JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ DELGADO , aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

YO Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



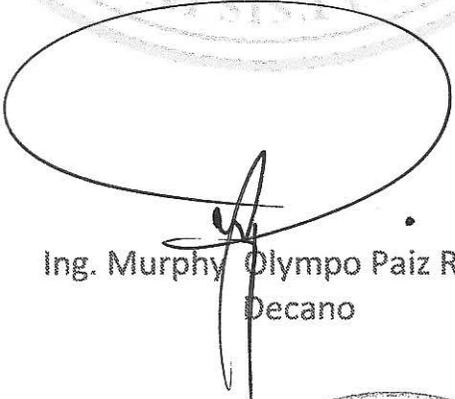
Guatemala, 11 de febrero 2013.

/sro



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA 2 Y 3 DE CIUDAD DE MIXCO, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Antonio Hernández Delgado**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 13 de febrero de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría.
Mis padres	Berta Albercina Montejo, Pedro David Hernández (q.e.p.d).
Mis hermanos	Anna Bertha Hernández Delgado, Juan Francisco Hernández Delgado.
Mi tía	América Delgado Montejo.
Mis amigos	Sergio Godínez, Hugo Marroquín, Enrique Salas, Erick Gordillo, Iván González, Julio Godoy, Henry Roldan, Sergio Godínez y otros.

AGRADECIMIENTOS A:

Msc. Ing. Hugo Rodas Por su colaboración y dirección en el diseño de investigación.

Ing. Julio González Por su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. ÁRBOL DE PROBLEMAS	5
4. OBJETIVOS.....	7
4.1. General	7
4.2. Específicos.....	7
5. JUTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
6. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
7. ALCANCES	13
8. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
8.1. Sistema de suministro de energía eléctrica.....	15
8.2. Interconexión entre sistemas eléctricos	17
8.3. Red de distribución eléctrica	17

8.4.	Pérdidas de energía eléctrica.....	17
8.5.	Optimización y eficiencia de sistemas eléctricos de distribución	18
8.6.	Eficiencia en redes de distribución eléctrica.....	19
9.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
9.1.	Variables e indicadores	21
10.	RESULTADOS ESPERADOS	23
11.	CONTENIDO	25
12.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	31
12.1.	Métodos.....	31
12.2.	Técnicas.....	32
13.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	35
14.	RECURSOS NECESARIOS.....	37
15.	BIBLIOGRAFÍA	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de suministro eléctrico.....	15
----	--------------------------------------	----

TABLAS

I.	Cuadro óptimo de pérdidas de energía de un sistema de suministro eléctrico	9
II.	Variables e indicadores.....	22
III.	Cronograma de actividades	35
VI.	Recursos necesarios	37

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BT	Baja tensión
Hz	Hercios
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatio-hora
kV	Kilovoltio
MT	Media tensión
%	Porcentaje
Q.	Quetzales
V	Voltio

GLOSARIO

Distribución	La 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.
Generación	En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica.
TIR	Tasa Interna de Retorno, es un indicador que permite conocer el tiempo en el cual una cantidad económica se va a pagar completamente.
Trasporte	El transporte es parte del sistema de suministro eléctrico constituido por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.
VAN	Valor Actual Neto, es un indicador que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros.

RESUMEN

El diseño de una red de distribución de energía eléctrica eficiente en la actualidad es muy importante ya que incide directamente en los costos de operación y mantenimiento de la empresa distribuidora. Las pérdidas de energía son mayormente en baja tensión, por lo que es muy importante el estudio de esta área de la red.

El área geográfica donde se realizará la investigación está ubicada en la zona 2 y 3 de la Ciudad de Mixco, departamento de Guatemala. En ella se tiene una fuerte presencia de actividad industrial que consume un buen porcentaje de energía eléctrica del total suministrada a esta área, pero la mayor carga la representa el sector residencial. Este sector tiene prácticamente todos los servicios de energía eléctrica conectados en baja tensión, por lo que las pérdidas de energía eléctrica son considerables.

Este trabajo tiene la finalidad de describir posibles cambios a la red de distribución en estudio, que se traduzcan en reducción de pérdidas de energía eléctrica en baja tensión. Para ello, previamente se estudiarán temas de planificación y eficiencia energética, se identificarán los elementos que confirman de la red de distribución, se estudiarán las características técnicas de estos elementos y los esquemas de conexión.

1. INTRODUCCIÓN

Dado el dinamismo y crecimiento del sistema eléctrico en general, a las redes de distribución de baja tensión, de forma errónea se tiende a darles menos atención, por lo que los beneficios posibles a obtener al implementar mejoras en las mismas deben considerarse como importantes.

Es por ello, que con el presente trabajo se busca revisar, analizar, estudiar y mejorar los conceptos y criterios de construcción que deben emplearse en todos los nuevos diseños de redes de distribución de energía eléctrica y centros de transformación de media tensión y baja tensión (MT/BT) de la empresa distribuidora en Ciudad de Mixco, así también, tomar provecho de las nuevas herramientas con las que se cuentan en la actualidad y con ello mejorar la eficiencia en el traslado de la energía eléctrica en la red de distribución.

Es necesario analizar de forma separada las redes aéreas y subterráneas de baja tensión, tomando en cuenta que estas últimas sólo se presentarán en zonas en las cuales las exigencias urbanísticas o las restricciones técnicas lo requieran.

De acuerdo a las características de los consumos, se establecen criterios de explotación, instalación, protección, respaldo y riesgo técnico que se deben aplicar tanto a los centros de transformación como a las redes de media tensión y baja tensión.

Dentro de los criterios de explotación se destaca:

- Determinar criterio de posicionamiento geográfico de los centros de transformación dado el crecimiento y la variabilidad de la carga en la red.
- Plantear variables a considerar y la forma de evaluar técnica y económicamente los valores para los factores de carga iniciales y los valores de sobrecarga máxima a aplicar en los transformadores de distribución.
- Determinar los criterios necesarios para la selección de los conductores adecuados, determinando la solución más rentable en cada caso y reduciendo las pérdidas.
- Determinar criterios y consideraciones para los centros de transformación y las redes de BT para obtener modelos que permitan definir la cantidad de circuitos que deben salir desde cada centro de transformación y la longitud que debe tener cada uno de ellos.

2. ANTECEDENTES

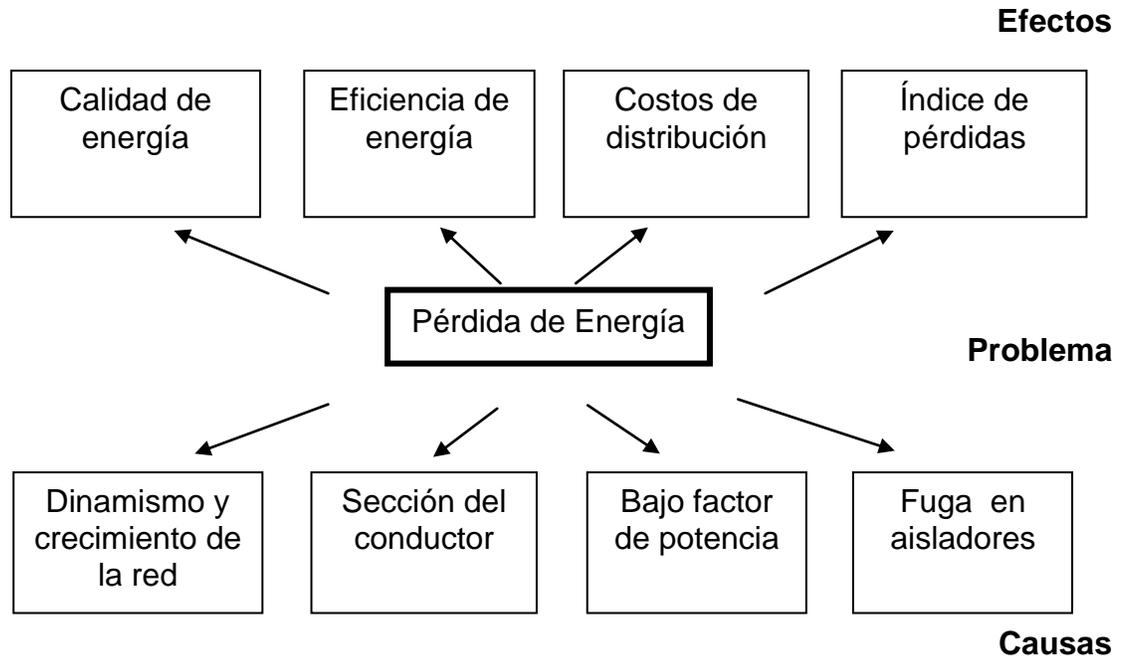
En Guatemala, se han hecho algunos estudios e investigaciones para mejorar y optimizar técnicas de construcción de las líneas de distribución de energía eléctrica, entre lo que se ha publicado se pueden mencionar:

- Tesis "Optimización del Diseño de Líneas de Distribución" que plantea ciertos parámetros para optimizar el diseño y la construcción de líneas de distribución en media tensión. Esta tesis se desarrolló con datos de los 80's (Byron Iban Azurdia Martínez, Universidad de San Carlos de Guatemala, abril de 1989).
- Tesis "Estudio de Factibilidad para el Sistema de Distribución de Energía Eléctrica en el Centro Histórico de Quetzaltenango con Líneas Subterráneas" que plantea la factibilidad de implementar sistemas de distribución subterráneos en áreas del Centro Histórico de Quetzaltenango donde sea necesario dado el peligro que representa para las personas y también para la propia red (Allan Omar Sac de Paz, Universidad de San Carlos de Guatemala, agosto de 2005).

Los ejemplos que se han presentado sólo plantean soluciones constructivas para las redes de distribución, pero no soluciones para mejorar la eficiencia de las redes, por lo que se tomarán también antecedentes de estudios e investigaciones en otros países, entre los cuales están:

- "Proyecto de Optimización Técnica y Económica del Sistema Eléctrico de Distribución en Media y Baja Tensión de la Comunidad San Agustín" que plantea una propuesta para la optimización técnica y económica del sistema eléctrico de distribución en media tensión y baja tensión en la comunidad ya mencionada. (Jesús Martínez y Alexis Zerpa, Universidad de Carabobo, Venezuela, julio 2007).
- Tesis "Herramientas para la planificación de redes de baja tensión y media tensión urbanas" que plantea como planificar de manera correcta una red de distribución eléctrica y así asegurar su correcto funcionamiento.

3. ÁRBOL DE PROBLEMAS



4. OBJETIVOS

4.1. General

Describir cambios y mejoras en la red de distribución eléctrica en zona 2 y 3 de la Ciudad de Mixco, que se traduzcan en reducción de pérdidas de energía en los circuitos o ramales con menos eficiencia.

4.2. Específicos

1. Determinar los puntos más ineficientes en la red de distribución eléctrica en la zona 2 y 3 de la Ciudad de Mixco y sus características técnicas.
2. Establecer y evaluar las construcciones e instalaciones existentes con el fin de modificarlas y de mejorar su eficiencia sin hacerlas vulnerables.
3. Determinar un estimado del ahorro energético, económico y de los beneficios ecológicos al implementar las medidas derivadas de la aplicación de los procesos propuestos.

5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Hoy en día, para consumir la energía eléctrica en los hogares de manera continua y sin grandes interrupciones, es necesario tener un excedente considerable de la misma, esto debido a la existencia de las pérdidas de energía eléctrica desde la etapa de generación, transporte, transformación y distribución. Dichas etapas correspondientes a las de un sistema eléctrico.

Tabla I. **Cuadro óptimo de pérdidas de energía de un sistema de suministro eléctrico**

Descripción	Pérdidas (%)	Eficiencia (%)
Generación	14	86
Trasporte	6	94
Distribución	12	88

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro que se presenta puede observarse que a nivel de distribución existe una cantidad considerable de pérdidas de energía, estas magnitudes pueden incrementarse con la obsolescencia de la red de distribución de energía eléctrica. Al mejorarse las instalaciones tiene un beneficio directo al distribuidor como al usuario final o cliente. Por el lado del distribuidor los beneficios serán:

- Menores pérdidas de energía, que representan costos de distribución
- Mejor calidad de servicio al usuario final o cliente
- Menor vulnerabilidad de las instalaciones
- Mayor vida útil

Al sumar las pérdidas de energía de cada etapa se pueden apreciar los grandes costos adicionales de la operación y funcionamiento del sistema eléctrico. En la etapa de distribución, las pérdidas pueden crecer rápidamente dado el dinamismo de la red y aún más en las redes de distribución de baja tensión.

Por lo común, en Guatemala ha existido poca atención en el comportamiento de las redes de distribución de baja tensión, lo que provoca que no se controle el crecimiento de las pérdidas de energía en esta parte del sistema eléctrico. Es por ello que se vuelve fundamental el estudio del comportamiento de este tipo de redes con el objetivo de evitar pérdidas de energía en las mismas, que provoquen costos adicionales en la operación y funcionamiento y así lograr mantener o mejorar la rentabilidad de la empresa distribuidora, esto también puede evitar aumento en las tarifas eléctricas que paga el consumidor final.

6. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las redes de distribución han cambiado sustancialmente desde los primeros días de la generación de energía eléctrica, actualmente su crecimiento se ha vuelto muy dinámico, por lo que se tiene que buscar continuamente una óptima relación entre eficiencia y operatividad. En términos más generales el problema, consiste, en abastecer un conjunto de usuarios, identificados por su demanda y por su ubicación espacial, para lo cual se debe determinar el trazado o topología de la red y el tipo de conductores a utilizar, la ubicación y tipo de transformadores, con el fin de minimizar los costos en operación y mantenimiento para un horizonte de tiempo determinado, cumpliendo las restricciones de regulación de tensión y construcción de la red y a la vez mantener un porcentaje de pérdidas aceptable o reducción de las mismas en el traslado de la energía eléctrica.

A medida que la población en Ciudad de Mixco crece, la diferencia entre producción y demanda de energía eléctrica también crece, ello debido a que la naturaleza de la segunda es exponencial, la producción en cambio es intrínsecamente escalonada. Esto, junto a recursos naturales explotados, fuentes de energía no renovable de difícil acceso, de construcción y puesta en producción por problemas sociales y una polución siempre en aumento, amplía el desafío para satisfacer la demanda de energía actual sin dañar el ambiente y buscar la armonía en la sociedad.

Muchos dirigen todos sus esfuerzos en crear fuentes de energía eléctrica que sean positivas para el ambiente, a lo cual paralelamente se puede implementar sistemas de distribución más eficientes, lo que se traduce en reducción de pérdidas, las cuales es común clasificarlas en pérdidas técnicas (las que se dan en los elementos y equipos de los circuitos eléctricos) y no técnicas (entre estas las dadas por el mal uso de los elementos y equipos, energía que por algún motivo no se contabiliza y las del tipo fraudulentas).

Por lo planteado, surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué cambios y mejoras en la red de distribución eléctrica en zona 2 y 3 de Ciudad de Mixco, se pueden hacer para reducir pérdidas de energía?
- ¿Cuáles son los puntos más ineficientes en la red de distribución eléctrica? ¿Qué características técnicas tienen estos puntos?
- ¿Qué modificaciones a las construcciones e instalaciones existentes se deben establecer y evaluar?
- ¿Qué ahorro energético y económico se puede lograr? y ¿Qué beneficios ecológicos se pueden obtener?

7. ALCANCES

Los alcances de la investigación están enfocados a la red de distribución de energía eléctrica en las zonas 2 y 3 de la Ciudad de Mixco, ubicada en el departamento de Guatemala, pero que puede ser aplicado a otras áreas geográficas con características urbanas similares o para diferentes sectores interesados en el tema:

- Redes de distribución en núcleos urbanos en la República de Guatemala.
- Empresas distribuidoras de energía eléctrica. Privadas y municipales.
- Sector estudiantil con intención de abarcar el tema de redes de distribución eléctricas.
- Ingenieros electricistas en general.

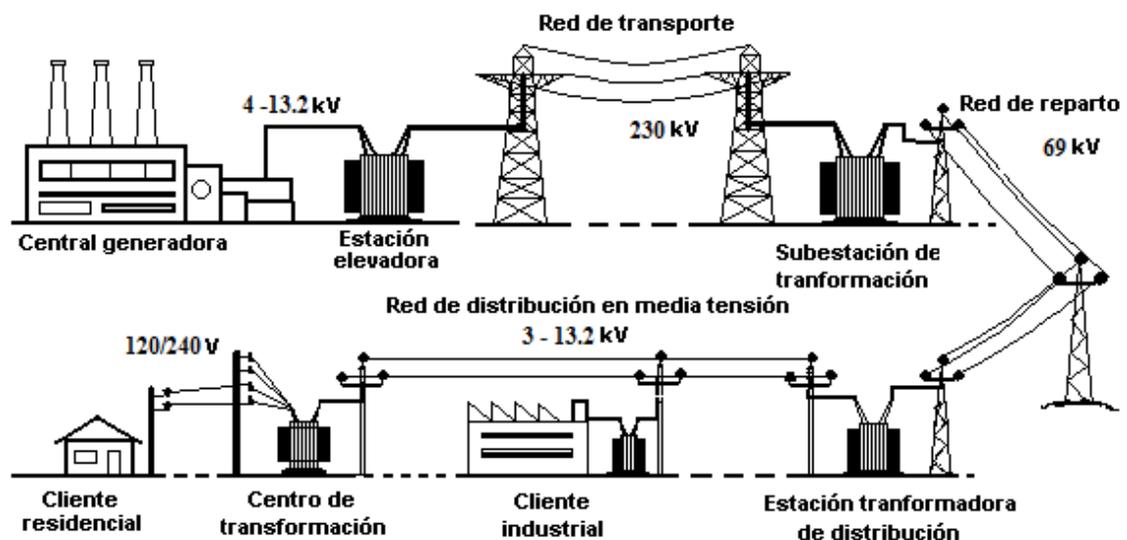
8. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

8.1. Sistema de suministro de energía eléctrica

El sistema de suministro de energía eléctrica está formado por el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección.

En la figura siguiente, se recogen los distintos componentes del sistema de suministro eléctrico:

Figura 1. Sistema de suministro eléctrico



Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen brevemente cada una de las etapas o escalones del sistema:

- Central generadora
- Red de transporte
- Estaciones y subestaciones de transformación
- Red de distribución
- Centros de transformación
- Consumidores finales

Las características más importantes de un sistema eléctrico son la intensidad, la tensión y la frecuencia, que son estables para cada sistema. (Red Eléctrica de España - 2009. El suministro de la electricidad: un equilibrio entre generación y consumo. España).

La intensidad es la cantidad de cargas eléctricas que circulan por un conductor por unidad de tiempo, su unidad de medida en el sistema internacional es el amperio (A).

La tensión o voltaje es el trabajo que debe aplicarse para mover cargas eléctricas entre dos puntos, es decir, la fuerza que impulsa los electrones; su unidad de medida es el voltio (V).

La frecuencia es el número de veces que se repite la señal en un determinado tiempo; su unidad de medida es el hercio o hertz (Hz). En Europa tiene un valor de 50 Hercios -Hz-, en Estados Unidos y en Canadá es de 60 Hz al igual que en Guatemala.

8.2. Interconexión entre sistemas eléctricos

La interconexión entre sistemas eléctricos permite garantizar el suministro eléctrico en un determinado territorio cuando un sistema en concreto no puede generar energía suficiente para cubrir la demanda. En Guatemala existe el Sistema Nacional Interconectado (SNI) que permite tener seguridad y calidad en los servicios.

8.3. Red de distribución eléctrica

El sistema de distribución está integrado por la infraestructura de distribución – líneas, subestaciones y las redes de distribución – que opera en tensiones menores o iguales a 34,5 kV.

Es importante tener en cuenta que la red de distribución en Guatemala está dividida según el nivel de voltaje en:

- Media tensión (13,8 kV y 34,5 kV)
- Baja tensión (120 V, 208 V, 240 V, 480 V)

8.4. Pérdidas de energía eléctrica

Las pérdidas de energía se estiman globalmente a partir de los balances de energía efectuados en cada sistema eléctrico. La exactitud del balance de energía y por consiguiente el valor global de las pérdidas de energía, está determinada por la precisión de las medidas, la simultaneidad y la periodicidad de las lecturas.

Las pérdidas se pueden clasificar en: pérdidas técnicas (las que se dan en los elementos y equipos de los circuitos) y no técnicas (entre estas las dadas por el mal uso u operación de los elementos y equipos del circuito, energía que por algún motivo no se contabiliza y de tipo fraudulentas).

El indicador del nivel de pérdidas desde el punto de vista de balance energético del sistema, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \text{Índice de} \\ \text{Pérdidas} = [(Energía de entrada - Energía de pérdidas)/Energía entrada] \\ (\%) \end{array}$$

Para la empresa distribuidora de energía las pérdidas implican un menor ingreso para remunerar el nivel de inversión, es decir, menor rentabilidad.

8.5. Optimización y eficiencia de sistemas eléctricos de distribución

¿Qué es la eficiencia energética?

Es la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Se puede mejorar mediante la implantación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos de consumo en la sociedad. También se puede decir, que es la relación entre la energía convertida a la forma deseada y la energía en su forma inicial.

¿Por qué es necesaria la eficiencia energética?

La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que se pueda disfrutar de ellas en un futuro.

El uso eficiente de la energía, redundando en la reducción de gases de efecto invernadero y consiguientes efectos sobre el cambio climático.

¿Qué es un negawatt?

Es el vatio eficiente, que permite ahorrar energía y dinero. En el futuro la red eléctrica que se conoce será digital e inteligente, proporcionando mayor confort, ahorro energético y económico, a través de una gestión más eficiente.

Pero mientras llega ese futuro, se puede actuar hoy sobre la gestión de la demanda de energía, a través de las soluciones eficientes. (Grupo Cerca - 2012. Mercados y tendencias: Save. Cerca, vol. 1, 29-32).

8.6. Eficiencia en redes de distribución eléctrica

Se deben considerar tres aspectos básicos de ingeniería, como el diseño eléctrico, el diseño mecánico y el diseño económico para un resultado óptimo en el diseño final de la red de distribución. Todo esto con el fin de lograr un sistema que se ajuste a las necesidades y requerimientos de la zona en estudio y que además, tenga un nivel permisible de pérdidas de energía.

Disponer de suficientes capacidades de transmisión y distribución es requisito previo esencial para una eficiente operación de los sistemas eléctricos por medio de la optimización de los recursos de generación y de la minimización de las pérdidas en el sistema de entrega de energía.

9. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Las pérdidas de energía en una red de distribución eléctrica en baja tensión pueden ser mayores que en media tensión, por lo cual deben aprovecharse las nuevas herramientas con las que se cuenta en la actualidad para revisar y evaluar los conceptos y criterios que se emplean en los nuevos diseños de red que posibilitarán grandes ahorros de energía y reducción de costos de operación.

9.1. Variables e indicadores

Las variables e indicadores, dada la naturaleza del proyecto de investigación, son de naturaleza cuantitativa y se basarán en mediciones precisas.

Tabla II. **Variables e indicadores**

VARIABLE	TIPO	INDICADOR
Pérdidas en la red de distribución eléctrica	Dependiente	Porcentaje de pérdidas de energía eléctrica para su reducción
Eficiencia en la distribución de la energía	Dependiente	Reducción de pérdidas de energía eléctrica e interrupciones en el servicio
Consumo energético del usuario final	Independiente	kWh, kW, kVAR
Integración de nuevos elementos a la red eléctrica	Independiente	Cantidad de elementos
Intensidad de Corriente	Independiente	Amperios
Regulación de tensión	Dependiente	Voltios
Impedancia del conductor	Dependiente	Ohmios por metro / Ohmios por kilometro
Emisión de CO2	Dependiente	Cantidad de Emisiones

Fuente: elaboración propia.

10. RESULTADOS ESPERADOS

De acuerdo con el análisis bibliográfico y de los valores encontrados, de parámetros eléctricos, con la simulación se pretende:

- Descubrir cambios y mejoras en baja tensión para lograr que las pérdidas de energía represente menos del 50% de los totales de la red de distribución en la zona 2 y 3 de la Ciudad de Mixco.
- Más del 90% de los usuarios o clientes están conectados a la red de baja tensión (que representa el 50,03% de la red total), por lo que los cambios y mejoras propuestos serían de gran valor para el distribuidor.
- Estimar la reducción de los costos de distribución en baja tensión, los cuales actualmente son casi el doble de los costos en media tensión y así realizar la evaluación económica.

11. CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

Capítulo 1

Red de distribución eléctrica, eficiencia energética y planificación

- 1.1. La red de distribución
 - 1.1.1. La red de distribución de media tensión
 - 1.1.2. La red de distribución de baja tensión
 - 1.1.2.1. En sectores urbanos
 - 1.1.2.1.1. Red aérea
 - 1.1.2.1.2. Red subterránea
 - 1.1.2.2. En sectores rurales
 - 1.1.3. Esquemas de conexión de la red
 - 1.1.3.1. Distribución radial
 - 1.1.3.2. Distribución en malla
 - 1.1.3.3. Distribución en anillo
 - 1.1.4. Centros de transformación
 - 1.1.4.1. Tipos de transformadores
 - 1.1.4.2. Dimensionamiento y ubicación

- 1.1.5. Pérdidas en una red de distribución
 - 1.1.5.1. Pérdidas técnicas
 - 1.1.5.2. Pérdidas no técnicas

- 1.2. Eficiencia energética
 - 1.2.1. Conceptos básicos
 - 1.2.2. Gestión de energía
 - 1.2.3. Factor de potencia (f.p.)
 - 1.2.3.1. Importancia del f.p.
 - 1.2.3.2. Influencia del tipo de carga
 - 1.2.4. ¿Qué es un negawatt?
 - 1.2.5. Normas ISO
 - 1.2.5.1. Norma 50001
 - 1.2.5.2. Norma 17025
 - 1.2.5.3. Norma 10012

- 1.3. La planificación
 - 1.3.1. Tipos de planes
 - 1.3.1.1. Plan de nuevas construcciones
 - 1.3.1.2. Plan de expansión y renovación
 - 1.3.1.3. Plan de operación y mantenimiento
 - 1.3.2. Elementos a modelar
 - 1.3.3. Criterios y métodos de optimización
 - 1.3.3.1. Criterios de optimización
 - 1.3.3.2. Métodos de optimización
 - 1.3.3.2.1. Modelos de programación matemática
 - 1.3.3.2.2. Modelos heurísticos
 - 1.3.3.2.3. Modelos geométricos

Capítulo 2

Arquitectura de red actual

- 2.1. Arquitectura actual de la red de media tensión
- 2.2. Arquitectura actual de la red de baja tensión
- 2.3. Diagnóstico
 - 2.3.1. Simulación (Sistemas gráficos)
 - 2.3.1.1. Estimación de pérdidas y obtención de parámetros actuales
 - 2.3.1.2. Interpretación de resultados

Capítulo 3

Propuestas para la planificación y mejoras de redes de baja tensión

- 3.1. Propuesta de diseño eléctrico
 - 3.1.1. Selección o dimensionamiento de conductores
 - 3.1.2. Selección y explotación de transformadores
 - 3.1.2.1. Ubicación de transformadores
 - 3.1.2.2. Transformadores de bajas pérdidas
 - 3.1.2.3. Redimensionamiento (factor de carga y reubicación)
 - 3.1.2.4. Vida útil
 - 3.1.3. Iluminación pública de alta eficiencia y factor de potencia alto
- 3.2. Propuesta de diseño mecánico
 - 3.2.1. Uso de redes preensambladas para redes en mal estado

- 3.3. Uso de herramientas para la gestión de la red
 - 3.3.1. Simulación (Sistemas gráficos)
 - 3.3.1.1. Uso de modelos para la optimización y cambio de la arquitectura actual de la red
 - 3.3.1.2. Estimación de pérdidas y parámetros con la nueva arquitectura
 - 3.3.1.3. Interpretación y evaluación de resultado
 - 3.3.2. Smart Grids (Red inteligente)
 - 3.3.2.1. Gestión del consumo
 - 3.3.2.2. Gestión adecuada de autoprodutores interconectados a la red
 - 3.3.2.3. Monitoreo y control del consumo de potencia reactiva en la red

Capítulo 4

Evaluación Costo-Beneficio

- 4.1. Costos
- 4.2. Beneficios técnicos
- 4.3. Evaluación económica
 - 4.3.1. Flujo de Caja (Cash Flow)
 - 4.3.2. VAN
 - 4.3.4. TIR
- 4.4. Resultados

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

- 5.1. Conclusiones
- 5.2. Recomendaciones

Capítulo 6

Referencias, bibliografía y anexos

- 6.1. Referencias
- 6.2. Bibliografía
- 6.3. Anexos

12. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La presente investigación será de tipo descriptivo ya que se buscan desarrollar una fiel representación (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características. En este caso las causas de las pérdidas de energía en redes de distribución de baja tensión.

12.1. Métodos

- El método analítico: que permitirá la descomposición del todo (red de distribución eléctrica de baja tensión) en sus partes (transformadores, conductores, postes, etcétera), para estudiarlas aisladamente.
- El método sintético: que permitirá la integración de todo lo que se desglosó en el análisis, para formar un nuevo conocimiento objeto de la presente investigación (red de distribución eléctrica de baja tensión de un área de Mixco).
- El método deductivo: que permite dar el primer razonamiento sistemático, el cual partirá de una verdad general (Ej.: el buen diseño de una red de distribución eléctrica permite optimizar su eficiencia) en un pensamiento particular (Ej.: el buen diseño de una red de distribución eléctrica y mayormente en baja tensión permite optimizar su eficiencia y reducir pérdidas de energía).

12.2. Técnicas

- Técnicas a utilizar en la investigación bibliográfica y documental: las anotaciones o los apuntes, los resúmenes y el subrayado.
- Técnicas a utilizar en la investigación de campo: la observación ordinaria de estado de la red de distribución de baja tensión, sus características, puntos vulnerables, etcétera; la toma de fotografías para el posterior análisis; la visita al sector a estudiar; encuestas por muestreo al personal técnico; reportes y cálculos de mediciones de las principales variables.

Las fases del estudio son:

Fase 1: investigación bibliográfica y documental que fundamente la investigación.

Se buscará información en fuentes confiables como libros y revistas de editoriales o autores reconocidos, publicaciones oficiales de universidades de Guatemala o extranjeras, publicaciones en páginas oficiales de instituciones reconocidas, etcétera.

Fase 2: trabajo de campo para determinar las características actuales de la red.

Se realizarán visitas periódicas a sectores de la zona 2 y 3 de la Ciudad de Mixco para hacer un levantamiento parcial de la red y verificar el estado de la misma.

Fase 3: uso de herramientas computacionales (PowerFactory, SIGRE, etcétera) para la simulación y determinación de las pérdidas de energía y variables eléctricas.

Se utilizarán herramientas computacionales para digitalizar la red y con ello determinar parámetros físicos, mecánicos y eléctricos existentes en el momento.

Fase 4: diseño y planteamiento de cambios a la red para la reducción de las pérdidas de energía utilizando herramientas computacionales.

Al tener la red digitalizadora se podrá realizar cambios en los parámetros físicos, mecánicos y eléctricos y así encontrar un diseño de red que sea más eficiente.

13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	SEMANAS																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Revisión y aprobación de plan de investigación	■	■	■	■																									
Desarrollo del tema: la red de distribución					■	■																							
Desarrollo del tema: eficiencia energética							■	■																					
Desarrollo del tema: la planificación									■	■																			
Primera revisión y realización de correcciones											■	■																	
Desarrollo del tema: arquitectura de la red actual												■	■	■															
Segunda revisión y realización de correcciones																■	■												
Desarrollo del tema: propuesta de diseño eléctrico																		■	■										
Desarrollo del tema: propuesta de diseño mecánico																				■	■								
Desarrollo del tema: uso de herramientas para la gestión de la red																						■	■						
Tercera revisión y realización de correcciones																								■	■				
Realización: evaluación Costo-Beneficio																											■		
Realización: conclusiones y recomendaciones																												■	
Cuarta revisión y finalización de informe de tesis																												■	

14. RECURSOS NECESARIOS

Recursos humanos	Costo por semana (Q)	Total en 29 semanas (Q)
Mi persona	0,00	0,00
Técnico electricista	50,00	1 450,00
Asesor	200,00	5 800,00
	Total	7 250,00

Recursos físicos	Costo por semana (Q)	Total en 29 semanas (Q)
Cuarto de estudio	-	0,00
Escritorio	-	800,00
Computadora	-	4 000,00
Impresora	-	500,00
Cámara	-	700,00
Papelería en general	50,00	1 450,00
Multímetro	-	500,00
Escalera	-	1 200,00
Casco	-	200,00
Guantes	-	150,00
Gafas de seguridad	-	60,00
Cincho de seguridad y accesorios	-	3 000,00
Cortaalambré	-	50,00
Alicate	-	100,00
Juego de destornilladores	-	200,00
Vehículo para transporte (depreciación y consumo de combustible)	250	7 250,00
	Total	20 160,00

15. BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión de Regulación de Energía y Gas (2002). Metodología para definir el índice de pérdidas reconocidas en la actividad de distribución. Colombia: Autor.
2. Faletti, E. (2004). Circuitos para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. *Electrosector*, vol. 1, 8-11. Argentina.
3. González, C. (2001). Cálculo de corrientes de cortocircuito en baja tensión. Documento interno no publicado, Instituto Nacional de Capacitación Profesional. Chile.
4. Grupo Cerca (2012). Mercados y tendencias: Save. Cerca, vol. 1, 29-32.
5. Grupo Enersis (2002). Convergencia de criterios de diseño de redes de baja tensión y centros de transformación. Documento interno no publicado. Chile.
6. Navarro Espinoza, A. (2007). Planificación de redes de distribución: Aproximación de Via Clustering, Diagramas de Voronoi y Búsqueda Tabu. (Tesis de maestría inédita). Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

7. Pinzón, I.; Garzón, E.; Guerrero, G.; Salgado, M.; Salgado, D.; González, M.; Bedoya, J. y Piñeros, O. (2008). Metodología para el cálculo de pérdidas técnicas en circuitos radiales con alta dispersión en clientes en áreas rurales. Congreso Latinoamericano de Distribución Eléctrica, Mar de Plata, Argentina.
8. Pipet, P. (2011). Power distribution automation solution, smart grid data aggregation. Documento interno no publicado, Schneider Electric. Dinamarca.
9. Red Eléctrica de España (2009). El suministro de la electricidad: Un equilibrio entre generación y consumo. España: Autor.
10. Santacana, E.; Zucco, T.; Feng, X.; Pan, J.; Mousavi, M. y Le Tang (2007). Energía para la eficiencia. Revista ABB, vol. 2, 14-21.
11. Schneider Electric España S.A. (2010). Guía de diseño de instalaciones eléctricas 2010. Documento interno no publicado. España.