



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MUNICIPAL RURAL DE ELECTRICIDAD DE PLAYA
GRANDE, IXCÁN, PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR MEDIO DE
ESTABLECIMIENTO DE RUTINAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

André Emanuel Larios Muralles

Asesorado por el M.A. Ing. Byron Ibán Azurdia Martínez

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN
ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MUNICIPAL RURAL DE ELECTRICIDAD DE PLAYA
GRANDE, IXCÁN, PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR MEDIO DE
ESTABLECIMIENTO DE RUTINAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANDRÉ EMANUEL LARIOS MURALLES

ASESORADO POR EL M.A. ING. BYRON IBÁN AZURDIA MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MUNICIPAL RURAL DE ELECTRICIDAD DE PLAYA GRANDE, IXCÁN, PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR MEDIO DE ESTABLECIMIENTO DE RUTINAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

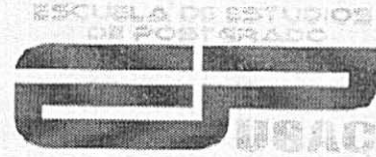
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2015.

André Emanuel Larios Muralles



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-003-2015

Guatemala, 24 de febrero de 2016.

Director
José Francisco González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Presente.


Estimado Director:

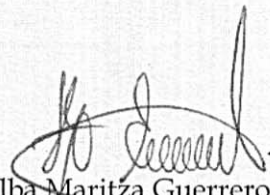
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **André Emanuel Larios Muralles** con carné número **2010-20369**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Ingeniería en Mantenimiento**.

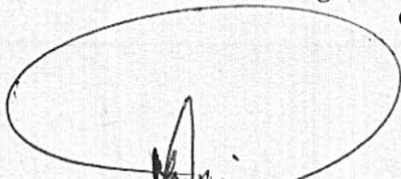
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente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

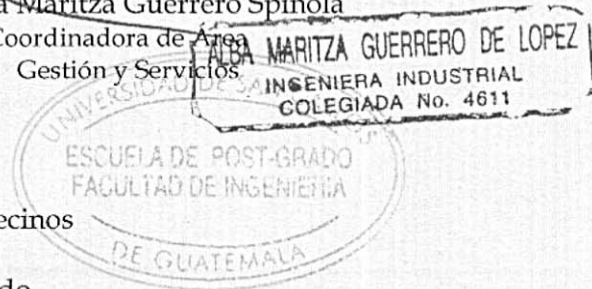
Sin otro particular, atentamente,

"Id y Enseñad a todos"


MSc. Ing. Byron Iban Azurdia Martínez
Asesor (a)
BYRON I. AZURDIA MARTINEZ
INGENIERO ELECTRICISTA
Colegiado 3,087


Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios
ALBA MARITZA GUERRERO DE LOPEZ
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611


MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la



REF. EIME 36. 2016.

Guatemala, 4 de ABRIL 2016.

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 de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MUNICIPAL RURAL DE ELECTRICIDAD DE PLAYA GRANDE, IXCÁN, PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR MEDIO DE ESTABLECIMIENTO DE RUTINAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**, presentado por el estudiante universitario André Emanuel Larios Muralles, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Director

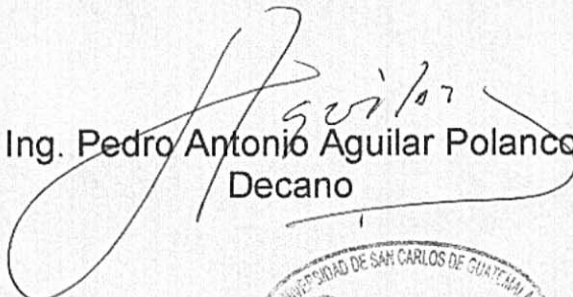
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





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 INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS INTEGRAL DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE LA EMPRESA MUNICIPAL RURAL DE ELECTRICIDAD DE PLAYA GRANDE, IXCÁN, PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO POR MEDIO DE ESTABLECIMIENTO DE RUTINAS DE MANTENIMIENTO**, presentado por el estudiante universitario **André Emanuel Larios Muralles**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuerza generadora de todo cuanto existe y quien me guía hoy y siempre.
- Mis padres** Mario Rubén Larios y Karina Muralles, ustedes que me han visto crecer, sintiéndose orgullosos de todos los triunfos por los cuales me he esforzado, hoy les entrego uno más, con el corazón en la mano diciendo gracias.
- Mi familia** Por la ayuda que me brindaron de una u otra forma para lograr esta meta. Deseo que este acto sea una muestra de que con esfuerzo, trabajo y la ayuda de Dios, los objetivos pueden cumplirse.
- Mis amigos** Por la convivencia, por estar en los buenos y malos momentos, por ser excelentes compañeros y brindarme un cariño sincero.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser el lugar que me formó académicamente y ser durante la carrera mi segundo hogar.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme las herramientas y conocimientos para ser un excelente profesional.

**Comisión Nacional
de Energía Eléctrica**

Por permitirme acceder al campo profesional, ejercer mi carrera y por ser el instrumento de aprendizaje constante.

Mi asesor

Por las enseñanzas, consejos y apoyo. Gracias por aceptar el reto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1. Pregunta general	6
2.2. Preguntas específicas	6
3. JUSTIFICACIÓN	9
4. OBJETIVOS	11
5. ALCANCES	13
6. MARCO TEÓRICO	15
6.1. Calidad de la energía	15
6.1.1. Calidad del producto	15
6.1.1.1. Interrupciones	16
6.1.1.2. Regulación de tensión	16
6.1.1.3. Distorsión armónica	16
6.1.1.4. Flicker	17

6.1.2.	Calidad del servicio técnico	17
6.1.2.1.	Frecuencia Media de Interrupción por kVA (FMIK).....	17
6.1.2.2.	Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK).....	18
6.1.2.3.	Frecuencia de Interrupciones por Usuario (FIU).....	18
6.1.2.4.	Tiempo de Interrupciones por Usuario (TIU).....	19
6.1.3.	Calidad Comercial	119
6.1.3.1.	Calidad del servicio comercial del distribuidor.....	19
6.1.3.1.1	Reclamo	20
6.1.3.1.2	Queja	20
6.2.	Confiabilidad	20
6.3.	Mantenimiento.....	21
6.3.1.	Mantenimiento basado en confiabilidad	21
6.3.2.	Mantenimiento preventivo	21
6.3.3.	Mantenimiento correctivo	21
6.4.	Flujos de carga.....	22
6.5.	Cálculo de la corriente de cortocircuito (Icc)	22
6.5.1.	Método de la matriz de impedancia de barra	22
6.5.2.	Método de superposición	23
6.5.3.	Método del voltaje detrás de la reactancia subtransitoria.....	23
6.5.4.	Método de la componente simétrica.....	24
6.5.5.	Método IEC	24
6.6.	Protección de sistemas de potencia.....	25
6.7.	Protección contra sobrecargas.....	25

6.7.1.	Relé de sobrecorriente	25
6.7.2.	Relé de tensión.....	26
6.7.2.1.	Relé de subtensión	26
6.7.2.2.	Relé de sobretensión.....	26
6.7.3.	Relé de tierra	26
6.7.4.	Relé diferencial	26
6.7.5.	Relé a distancia	27
6.8.	Coordinación de protecciones	27
6.8.1.	Información para realizar una coordinación de protecciones	27
6.8.1.1.	Diagrama unifilar.....	27
6.8.1.2.	Diagrama de impedancia.....	28
6.8.1.3.	Análisis de cortocircuito	28
6.8.1.4.	Datos de calibración de los dispositivos	28
6.8.2.	Procedimiento para realizar una coordinación de protecciones	28
7.	PROPUESTA DE CONTENIDO DEL INFORME FINAL	31
8.	MARCO METODOLÓGICO	33
9.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	35
10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	37
11.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	39
12.	BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Cronograma de actividades	37
II.	Recursos necesarios.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BT	Baja tensión
CT	Centro de transformación de MT a BT
CEMS	Costo de energía
CENS	Costo de la energía no suministrada.
CP	Costo de pérdidas
US\$	Dólar de los Estados Unidos de América
NA	Elemento de corte o seccionamiento normalmente abierto.
NC	Elemento de corte o seccionamiento normalmente cerrado.
f.p.	Factor de potencia
Fs	Factor de simultaneidad
FU	Factor de utilización
FC	Flujo de carga
INIG	Indemnización para ser distribuida globalmente entre los usuarios.
I	Interés mensual a plazo fijo
km	Kilómetro
kW	Kilovatios hora
kV	Kilovoltio
kVA	Kilovoltio amperio
MT	Media tensión
%	Porcentaje

Q	Quetzal, moneda de la República de Guatemala
Rur	Rural
SMT	Salida de media tensión
SE	Subestación
n	Tiempo de recuperación de capital
TTIK	Tiempo medio de interrupción por KVA
Urb	Urbano
P/A	Valor presente a partir de un valor futuro
V	Voltios

GLOSARIO

Alta tensión	Nivel de tensión superior a sesenta mil voltios (60 000 V).
Baja tensión	Nivel de tensión menor o igual a mil voltios (1 000 V).
Beneficio	Cambio a favor en el estado de las condiciones económicas de una distribuidora.
Cliente-usuario	Persona individual o jurídica que recibe el servicio de energía eléctrica del distribuidor, en media o baja tensión.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Distribuidor	Ente privado o estatal que se dedica a la distribución de la energía eléctrica.
Factor de potencia	Coseno del ángulo que existe entre la potencia activa y la potencia aparente.
Incidencia	Interrupción del suministro de energía eléctrica.
Indicador de calidad	Índices normados por la CNEE para determinar la calidad del servicio técnico de un distribuidor.

Índices	Valores normados por la CNEE para medir la calidad del servicio de una empresa.
Media tensión	Nivel de tensión superior a los mil voltios (1,000 V) y menor o igual a sesenta mil voltios (60,000 V).
Monofásico	Sistema compuesto por una fase de voltaje y corriente alterna.
Neplan	Programa especializado para estudios eléctricos.
NTDROID	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
NTDOST	Normas Técnicas de Diseño y Operación del Servicio de Transporte de Energía Eléctrica.
NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
Penalización	Sanción que se aplica al distribuidor por haber sobrepasado los límites de indicadores de calidad.
Potencia	Trabajo o transferencia de energía por unidad de tiempo.
Transformador de Tensión	Componente de las instalaciones eléctricas cuya función es la de convertir el voltaje a niveles comerciales de consumo.

Trifásico	Sistema compuesto por tres fases de voltaje y corriente alterna.
VP	Valor presente de costos o beneficios del proyecto o plan a evaluarse.
VPN	Es el valor presente neto del proyecto o plan a evaluarse.

RESUMEN

Se presenta, en este trabajo, un diseño para lograr analizar, estudiar, y evaluar la red de distribución eléctrica de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán. Los cuales reflejarán en índices de frecuencia y duración de fallas, el estado en que se encuentra la red y verificar tanto para consumidores como elementos parciales de la red, si es confiable y eficiente.

Es un objetivo de las Normas Técnicas del Servicio de Distribución establecer derechos y obligaciones de los prestatarios y usuarios del servicio eléctrico de distribución, índices o indicadores de referencia para calificar la calidad con que se proveen los servicios de energía eléctrica, tanto en el punto de entrega como en el de utilización de tales servicios, tolerancias permisibles, métodos de control, indemnizaciones y multas, con respecto a los parámetros de calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial, debido que EMRE no cuenta con la estructuración, la definición de procedimientos y los sistemas necesarios para cumplir con estos parámetros específicos, se identifica la problemática de la falta de las bases de datos necesarias para que sean el punto de partida en el cumplimiento de los indicadores o índices de calidad de estos parámetros específicos.

Se desarrolla una amplia gama de información acerca de indicadores de interrupciones, así también, conceptos generales del mismo con la intención de entregar al lector una herramienta de evaluación de confiabilidad, que le permita tomar sus decisiones adecuadamente, en cuanto a la planificación y estudio de la distribución de energía eléctrica con topología radial; considerando entre otros elementos, la incidencia que cada sector tiene sobre el desempeño del

sistema, medido en términos de la capacidad de este para abastecer la demanda conectada; políticas de mantenimiento, elementos de protección, operación, incorporación de elementos de maniobra automatizados, refuerzos de elementos, etcétera.

Se presenta la temática general que enmarca el trabajo realizado, presentando los objetivos y alcances generales del mismo. Así también, en forma resumida, la teoría de confiabilidad, interrupciones y diferentes métodos de evaluación.

Se expone la metodología utilizada para evaluar los índices de calidad de una red de distribución y la metodología para optimizar inversiones, cuando se desea mejorar el nivel de probabilidad o disponibilidad de servicio eléctrico en un punto cualquiera de la red; así como las definiciones de cada una de las variables involucradas en dicho proceso.

INTRODUCCIÓN

El fin supremo del Estado de Guatemala es la realización del bien común, asimismo garantizarle a los habitantes de la República la vida, la libertad, la justicia, la seguridad, la paz y el desarrollo integral de la persona. Esto según los primeros artículos de la Constitución Política de la República de Guatemala.

Por lo tanto, el Estado es el que debe asumir el reto de proporcionar los servicios y recursos de calidad. Asimismo, administrarlos de una manera transparente y honesta, para luego ser devueltos a la sociedad, ya que únicamente deben ser utilizados para el beneficio de la sociedad misma.

La cantidad de recursos limitados que posee el país para cumplir objetivos de igualdad y desarrollo se ha visto afectada en las instituciones del gobierno, las cuales reciben recursos de la población a través del pago de impuestos. Por lo tanto, cada institución del Estado está obligada a brindar dichos recursos con calidad, eficiencia y de una manera eficaz.

Por lo cual, la planificación de las redes eléctricas de distribución en la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán y el análisis integral de las mismas darán a conocer los indicadores de calidad que presenta. De esta manera aplicar propuestas técnicas y económicas para mejorar el producto y servicio que la empresa municipal brinda.

En el primer capítulo se presentan los fundamentos de una Empresa Eléctrica Municipal, asimismo, el marco legal y una reseña de Playa Grande. En el segundo capítulo se evaluará el estado de la red de distribución de energía

eléctrica y determinar la calidad del producto y servicio con base en los índices de calidad remitidos por la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán.

En el tercer capítulo se establecerá la demanda a través de la energía, que puede ser efectuada por dos métodos: por corridas de flujo a través de programas especializados para estudios eléctricos, o en campo, midiendo personalmente cargas puntuales. Se analizará el funcionamiento de la red y sus respaldos, así como la calidad del producto y del servicio que la Empresa Municipal brinda.

En el cuarto capítulo se presentará una propuesta, tanto técnica como económica, donde se evaluará el estado de la red y empezará una planificación de mantenimientos, tanto correctivos como preventivos. Detectando así los puntos críticos en los que es necesario realizar correcciones inmediatas, o programar acciones preventivas para lograr una mejora en el servicio de distribución brindado.

1. ANTECEDENTES

Un método para lograr reducir las interrupciones transitorias consiste en eliminar los disparos momentáneos en el interruptor de alimentación, con lo que de este modo se hacen las fallas laterales permanentes, (Warren, 1992). Solo así se lograría reducir el daño colateral que provocan interrupciones de fuerza mayor.

Para la evaluación de los sistemas de distribución (Allan, Dialynas, & Homer, 1979) y revisado en su versión actual de 2007, analiza las características inherentes de los sistemas de distribución típicos, asimismo describe y evalúa modelos que reflejan el comportamiento operativo de dichos sistemas y su efecto en los consumidores.

Existen metodologías que permiten estimar la confiabilidad en una red de distribución eléctrica con base a la historia de los eventos y a lo establecido en la normativa eléctrica (Baeza, Rodríguez, & Hernández, 2003). Donde proponen metodologías para evaluar la confiabilidad en los sistemas de distribución.

Otra de las metodologías para calcular los índices de confiabilidad en los puntos donde se encuentra la carga es presentada por Billinton & Bollinger en 1968, donde se presenta una parte de la lógica que logra deducir las ecuaciones necesarias. Ellos demostraron que las ecuaciones respondían a resultados que no tenían coherencia alguna con los que obtenían utilizando la técnica markoviana. El desarrollo de la técnica para fines de análisis de sistemas eléctricos de tamaño real resulta impracticable, debido a que implica

soluciones de un sistema de ecuación del orden de $2n$ donde n representa el número de elementos con los que se modela la red eléctrica.

Para planificación de sistemas de distribución (Bartholomay, Hanson, & Malamen, 2009), resultado de la investigación patrocinada por Cooperative Research Network (CRN), un servicio de la Asociación Nacional de Cooperativas Eléctricas Rurales de los Estados Unidos o NRECA presenta los métodos formales de planificación de sistemas establecidos y brinda un panorama general del proceso de planificación de sistemas de distribución, así como las herramientas y métodos que necesitan las cooperativas para mejorar la eficacia de sus iniciativas de planificación.

Como se ha mencionado, un programa especializado para estudios eléctricos (Neplan, Smarter Tools) es una herramienta para la corrida de flujos de carga en tiempo real, y lograr minimizar las consecuencias al momento de corregir indisponibilidades u otro tipo de problema que afecte el servicio de distribución a los usuarios. Todas las simulaciones estarán dentro del marco regulatorio establecidas por las Normas Técnicas de Distribución, creadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Se utilizarán las diferentes normas establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica que se encuentran en el Compendio de Normas Técnicas. Asimismo, se utilizará la Ley General de Electricidad y el Reglamento de La Ley General de Electricidad que establecen las directrices a seguir y estipulan las obligaciones de calidad, eficiencia, disponibilidad y continuidad que deben tener las redes de distribución del país. Al igual que proponen las sanciones o multas con las que se sanciona cualquier tipo de incumplimiento a las mencionadas normas.

La administración del mantenimiento que plantea Nava en 1995, donde se recopila información al ocurrir una falla, se registran el número de interrupciones, y se mide la calidad del servicio técnico, para luego clasificar las interrupciones, analizar la frecuencia, duración y establecer parámetros económicos en la toma de decisiones, con ello podrán concretar los índices que se orientan al consumidor y medir índices de indisponibilidad en horas/año, y de esta forma determinar las falencias de la calidad y por principios de Pareto mejorar la calidad del servicio de distribución.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector eléctrico es el encargado de proporcionar energía al sector industrial y residencial de toda la República de Guatemala, por lo tanto debe velar por la eficiente disponibilidad y seguridad del sistema. Asimismo, implementar nuevas tecnologías para mejorar la confiabilidad y calidad en el servicio de energía eléctrica, para superar las expectativas de los usuarios.

La creciente demanda, cada día de usuarios necesitados de energía eléctrica, hace que existan interrupciones en el sector eléctrico que afecten el servicio suministrado. La gravedad de los eventos no proviene de la naturaleza de su origen sino de sus consecuencias para los usuarios, al igual que al medio ambiente y para el mismo componente o sistema.

El objetivo del sector eléctrico es proveer a los usuarios un servicio continuo; aunque las complicaciones siempre van a existir, es necesario garantizar que cada elemento que conforma el sistema de potencia permanezcan en efectivo y continuo funcionamiento.

La Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán es la encargada de prestar el servicio municipal de electricidad en Playa Grande, Ixcán departamento de Quiché, por medio de la compra de energía en bloques al Instituto Nacional de Electrificación (INDE), y luego distribuirla a un costo razonable a la población. Debido a que la electrificación de un sector se encuentra meramente relacionada con el desarrollo económico, social y cultural de la población residente, dicha distribución debe cumplir ciertos estándares de

calidad los cuales están establecidos por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) en las Normas Técnicas de Servicio y Distribución (NTSD).

El problema de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán reside en el incumplimiento de las normas establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, las cuales conllevan a sanciones y llamadas de atención dentro del marco regulatorio y legal. A su vez, las interrupciones y problemas inherentes al servicio de distribución eléctrica pueden llegar a dañar los equipos eléctricos de los usuarios causándoles pérdidas económicas, asimismo los índices de interrupción media por usuario y los índices de tiempo promedio de interrupción se incrementan, haciendo que el rango de tiempo que los usuarios no fueron abastecidos con el servicio aumente.

Es así como el mantenimiento forma parte importante en la confiabilidad del sistema, cuyo fin es mantener la continuidad del servicio la mayor cantidad de tiempo posible.

2.1. Pregunta general

¿El servicio de distribución que brinda la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán cumple en calidad, confiabilidad y disponibilidad con Normas Técnicas de Servicio y Distribución?

2.2. Preguntas específicas

- ¿Cuáles son los puntos críticos de la red de distribución de la Empresa Eléctrica Municipal de Ixcán que afectan la continuidad del servicio eléctrico?

- ¿Cómo se encuentra el sistema de protecciones de la red de distribución eléctrica de la Empresa Eléctrica Municipal de Ixcán?
- ¿Es factible económicamente para la Empresa Eléctrica Municipal de Ixcán realizar correcciones en su servicio de distribución?
- ¿Qué pérdidas pueden ser corregidas para que el servicio de distribución de la energía eléctrica en la Empresa Eléctrica Municipal de Ixcán sea eficaz y confiable?

3. JUSTIFICACIÓN

El aumento constante de los usuarios de energía eléctrica crean una demanda mayor cada día, por lo cual es muy importante que la disponibilidad en la entrega de energía eléctrica sea lo más confiable, eficaz y eficiente.

Al presentarse interrupciones en el servicio de distribución eléctrica en la Empresa Eléctrica Municipal, provoca un paro general en la comunidad, representando pérdidas monetarias dentro de la comunidad y ocasionalmente daños en las instalaciones eléctricas y equipo de la población. Dentro de las necesidades que existen se deben realizar rutinas de mantenimiento a la red de distribución. Para ello es necesario conocer el perfil de carga del sistema de distribución eléctrica y se logrará realizando análisis de flujos de cargabilidad, por medio de simulaciones hechas con Neplan, que es un programa especializado para estudios eléctricos y así determinar la carga que posee el sistema de distribución, para describir entre otras cosas, las pérdidas técnicas y no técnicas en el sistema, y poder dar un análisis puntual de la energía que es recibida por el usuario final.

La razón de la investigación es dar un análisis de flujos de carga lo más cercano posible a la realidad, y así reconocer los puntos menos confiables y de mayor incidencia de interrupción, lo que daría lugar a la implementación de mantenimientos, y disposición de elementos de regulación para mitigar de esta manera las interrupciones y lograr dar un servicio de calidad, eficaz y eficiente.

4. OBJETIVOS

General

Realizar un análisis integral del Sistema de Distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán, que cumpla con las normas técnicas establecidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Específicos

1. Determinar los puntos críticos de la red de distribución en función de la carga, de esta manera identificar los lugares donde se requiera mantenimiento y los lugares donde sea necesario colocar equipo de regulación.
2. Reconocer y mejorar los elementos eléctricos de protección para liberar y detectar fallas.
3. Realizar un análisis de sensibilidad respecto a los costos del proyecto para encontrar la rentabilidad de las correcciones a realizar en la red de distribución.
4. Diferenciar pérdidas técnicas y no técnicas para dar una estimación precisa de las rutinas de mantenimiento que debe realizar la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán y de esta manera brindar el servicio eficaz y confiable.

5. ALCANCES

El proyecto tendrá como alcance la creación de rutinas de mantenimiento reconociendo principalmente los puntos críticos de la red de distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán, para corregirlos, estableciendo mantenimientos predictivos o colocando equipo de regulación. Dentro de la investigación se pretende enlistar los equipos de regulación a utilizar para corregir indisponibilidades, explicar su funcionamiento y su función dentro de los procesos.

La investigación debe proporcionar los elementos críticos que afecten la continuidad del servicio de distribución. Por medio del programa especializado en estudios eléctricos Neplan es posible analizar dichas interrupciones, y a su vez, abarcar la red de distribución para encontrar los puntos donde se colocarán elementos de regulación.

Se utilizarán rutinas de mantenimiento y operaciones de maniobra debido a que estos mejorarán notablemente la disponibilidad del sistema, brindando así un servicio con el menor número de interrupciones posibles.

El alcance general del proyecto es crear un análisis integral que pueda llegar a ser aplicado a las demás empresas eléctricas municipales. Detectando sus deficiencias y aplicando las correcciones que se consideren necesarias. Logrando una mejor calidad en el servicio de distribución para cada municipio, brindándole al usuario final de la energía eléctrica un producto continuo, confiable y eficiente.

En el presente trabajo se analizarán las interrupciones de las redes de distribución de un plazo de dos trimestres anteriores, llevando un periodo de dos meses el análisis de la red y un periodo de seis meses la planeación, como ejecución de rutinas de mantenimiento para observar la mejora de la calidad del servicio de distribución eléctrica.

6. MARCO TEÓRICO

Según las Normas Técnicas de Servicio y Distribución se establecen los siguientes conceptos y definiciones, los cuales se agregan a las contenidas en la Ley General de Electricidad, su Reglamento y otras normas aprobadas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

6.1. Calidad de la energía

Se define generalmente, como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, variaciones de la tensión suministrada por el distribuidor de energía eléctrica y deformaciones causadas por distintas situaciones en la red de distribución. Es la mezcla de una atención de los diferentes entes del sector eléctrico enfocado al mejoramiento de los equipos que intervienen en el proceso, desde la generación de electricidad hasta la distribución final. (CNEE, 2010).

6.1.1. Calidad del producto

Es aquel suministrado por el Distribuidor en el que influye la regulación de tensión, desbalance de tensión en servicios trifásicos, distorsión armónica, y flicker. (CNEE, 2010).

6.1.1.1. Interrupciones

El nivel de calidad de las redes de distribución depende de varios factores, muchos de estos pueden ser controlados y otros no. Entre los factores que pueden ser controlados están los planes de mantenimiento preventivo, los cuales prevén que sus instalaciones tengan un diseño adecuado y eviten salidas de las instalaciones para evitar flameos en aisladores, o roturas de conductores. Entre los factores que no se pueden controlar existen varias causas externas, tales como las fallas en líneas de transporte, tormentas o alguna otra condición climática extrema, etc. (CNEE, 2010).

6.1.1.2. Regulación de tensión

Es el índice utilizado para evaluar la tensión en el punto final que entrega el Distribuidor de la energía. Está expresado como un porcentaje de la tensión nominal. (CNEE, 2010).

6.1.1.3. Distorsión armónica

Es el fallo en el sistema de distribución que ocurre cuando la forma de onda senoidal del voltaje o de la corriente tiene deformaciones. Esto a causa, muchas veces, de que los equipos utilizados en los sistemas de distribución no son lineales. Los cuales inyectan armónicos a la red de distribución en el punto de conexión. (CNEE, 2010).

6.1.1.4. Flicker

Es el disturbio en la amplitud de la onda senoidal de voltaje o corriente, lo que provoca fluctuaciones representadas físicamente por el parpadeo de las lámparas y los sistemas de iluminación que lo sufran.

6.1.2. Calidad del servicio técnico

Esta influye en la continuidad del servicio, la cual es relativa al número y duración de interrupciones que presenta el suministro de energía eléctrica. (CNEE, 2010)

6.1.2.1. Frecuencia Media de Interrupción por kVA (FMIK)

Representa las veces en kilovolts-amper promedios que el servicio de distribución sufrió interrupciones en su servicio. Según ecuación 1:

$$FMIK = \sum_j \frac{Q_{kfsj}}{Q_{ki}} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde

\sum_j = sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Q_{kfsj} = cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j

Q_{ki} = cantidad de kVA instalados

(CNEE, 2010)

6.1.2.2. Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK)

Representa el tiempo en horas de kVA promedio que estuvo fuera de servicio. Según ecuación 2:

$$TTIK = \sum_j \frac{Q_{kfsj} * T_{fsj}}{Q_{ki}} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde

\sum_j = sumatoria de todas las interrupciones del servicio durante el semestre

Q_{kfsj} = cantidad de kVA fuera de servicio en la interrupción j

Q_{ki} = cantidad de kVA instalados

T_{fsj} = tiempo en que los kVA han estado fuera de servicio durante la interrupción j

(CNEE, 2010)

6.1.2.3. Frecuencia de Interrupciones por Usuario (FIU)

Es la frecuencia de interrupciones que afectan a cada usuario. Según ecuación 3:

$$FIU = \sum I_j \quad \text{[Ecuación 3]}$$

Donde

I_j = número de interrupción j, para cada usuario

(CNEE, 2010)

6.1.2.4. Tiempo de Interrupciones por Usuario (TIU)

Es el tiempo que el usuario permanece sin servicio de energía eléctrica. Según ecuación 4:

$$TIU = \sum T_{fsuj} \quad [\text{Ecuación 4}]$$

Donde

T_{fsuj} = tiempo en horas de la falta de servicio j , para cada usuario (CNEE, 2010)

6.1.3. Calidad comercial

Es la actividad inherente ligada a la calidad de atención al usuario final de la energía eléctrica. (CNEE, 2010).

6.1.3.1. Calidad del servicio comercial del distribuidor

La Ley General de Electricidad asigna obligaciones a los distribuidores del servicio de energía eléctrica en el país y cualquier incumplimiento se encuentra penalizado con sanciones o multas por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (CNEE, 2010).

6.1.3.1.1. Reclamo

Es el medio por el cual el usuario final del servicio de energía eléctrica manifiesta su inconformidad con el servicio y la atención que recibe del distribuidor. (CNEE, 2010).

6.1.3.1.2. Queja

Es el medio por el cual el usuario manifiesta ante la CNEE a través del libro de quejas, su inconformidad por la atención recibida o el servicio que recibe del distribuidor de energía eléctrica. Estas definiciones se encuentran en los artículos 9 y 26 de las resoluciones CNEE-90-2008. (CNEE, 2010).

6.2. Confiabilidad

En el presente trabajo entiéndase confiabilidad como la continuidad del servicio, es decir continuidad del servicio de energía eléctrica que se entrega al usuario final. La confiabilidad es medida a través de índices de calidad y desempeño, la cual se divide en dos partes: el estudio de registros pasados y el tratar de predecir la confiabilidad del sistema en un futuro. (CNEE, 2010).

El estudio de mantenimiento basado en confiabilidad realizado por Roy Billinton en 1988, plantea conceptos de mantenimiento que se presentan a continuación:

6.3. Mantenimiento

Son las acciones realizadas para preservar un equipo o sistema a un costo reducido, cuyo fin es aumentar su vida útil durante el mayor tiempo que fuese posible. (Billinton, 1988).

6.3.1. Mantenimiento basado en confiabilidad

Es una técnica del mantenimiento que se basa en la confianza. Tratando que el equipo no presente fallas durante un largo periodo de tiempo, y que su disponibilidad sea alta. (Billinton, 1988).

6.3.2. Mantenimiento preventivo

Utiliza métodos que logran estimar momentos en que pudiese ocurrir una indisponibilidad o falla en un equipo o sistema establecido. Con la estimación se logra anticipar al problema antes de que este suceda. Las herramientas de esta técnica de mantenimiento están basadas en la recopilación de datos periódicos y datos estadísticos. (Billinton, 1988).

6.3.3. Mantenimiento correctivo

Es el mantenimiento en el que no se predice ninguna falla sino que se corrigen las que ocurrieron para evitar un mayor atraso en la producción del

servicio que se brinda u ofrece. En la mayoría de los casos, las máquinas o procesos que se aplica esta técnica de mantenimiento existe la posibilidad de que hayan sufrido daños irreparables que aumente el costo de reparación previsto. (Billinton, 1988).

El *Manual técnico de apoyo para la materia mantenimiento en subestaciones eléctricas* del Ing. Isaías Cecilio Ventura Nava en 1995 expone los siguientes conceptos eléctricos:

6.4. Flujos de carga

Un análisis de flujos de carga se realiza para verificar la convergencia del flujo y la coherencia con los aspectos técnicos, como los límites de capacidad del transporte, los voltajes en los barrajes y las sobretensiones en líneas. (Nava, 1995).

6.5. Calculo de la corriente de cortocircuito (Icc)

Existen varios métodos para encontrar corrientes de corto circuito en cualquier punto de un sistema de potencia, los más importantes y mayormente utilizados son los siguientes:

6.5.1. Método de la matriz de impedancia de barra

Dicho método se basa en el conocido teorema de Thevenin, en el cual el punto donde se encuentra la falla es representado como una fuente de tensión en serie con una impedancia equivalente de Thevenin. La matriz de impedancias Zbarra es muy útil para realizar el cálculo de fallas. Como existen varios métodos para desarrollar Zbarra, el método que se presenta es

invirtiendo la matriz de admitancias Ybarra, y de esta manera determinaríamos las corrientes de cortocircuito. (Nava, 1995).

6.5.2. Método de superposición

En este método se calcula la corriente al punto que se desea obtener, antes de la falla y la corriente debido a la falla. La suma de ambas corrientes proporcionaría la corriente total de falla. (Nava, 1995).

6.5.3. Método del voltaje detrás de la reactancia subtransitoria

Dicho método se realiza calculando el voltaje de la reactancia subtransitoria en el momento antes del cortocircuito. (Nava, 1995), según ecuación 5:

$$E'' = V + jX''I \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Y luego calcular la corriente de corto circuito utilizando el voltaje en terminales y la reactancia subtransitoria. (Nava, 1995), según ecuación 6:

$$I'' = \frac{E''}{X''} \quad \text{[Ecuación 6]}$$

6.5.4. Método de la componente simétrica

Este método es básicamente la separación de vectores que representan en fase corrientes desequilibradas, entiéndase fallas asimétricas en sistemas de componentes simétricos. De este modo se pueden estudiar fallas asimétricas de una manera similar que el estudio de las fallas simétricas trifásicas.

En los sistemas trifásicos equilibrados se representan las fases con los siguientes subíndices, 1 para los componentes de secuencia positiva, 2 para los componentes de secuencia negativa, y 0 para los componentes de secuencia cero. (Nava, 1995).

Los vectores desbalanceados son descompuestos en tres vectores balanceados. Según las ecuaciones 7, 8, 9:

$$V_a = V_{a^1} + V_{a^2} + V_{a^0} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

$$V_b = V_{b^1} + V_{b^2} + V_{b^0} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

$$V_c = V_{c^1} + V_{c^2} + V_{c^0} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

6.5.5. Método IEC

Este método se encuentra establecido por la Norma IEC 909, que requiere un modelado detallado de las contribuciones del cortocircuito al sistema y provee de los métodos para la determinación de corrientes mínimas que son utilizadas para la selección de fusibles de protección. Dicha Norma es aplicable a tensiones por debajo de los 230 kV operando a 50 o 60 Hz. (Nava, 1995).

6.6. Protección de sistemas de potencia

Estos elementos tienen la función principal de detectar y aislar al mismo tiempo, en un rango de tiempo relativamente corto, un evento de falla. Los más utilizados son los relés de protección. El cual es un dispositivo que se excita con una señal de voltaje, corriente o en algunos casos con ambas señales. (Nava, 1995).

6.7. Protección contra sobrecargas

Son comúnmente utilizados en líneas por debajo del suelo, como precaución en caso de corrientes arriba de la corriente nominal que sobrecalienten el aislamiento térmico. Los elementos se sobredimensionan para que la corriente en exceso que se produce sea inferior a la corriente de cortocircuito. Por lo cual, para su detección se utilizan fusibles o dispositivos termomagnéticos; y si se utilizan en conjunto se consigue una protección eficaz en sobrecorrientes con seccionadores bajo carga. (Nava, 1995).

6.7.1. Relé de sobrecorriente

El aparato entra en funcionamiento cuando la corriente que circula por sus terminales sobrepasa la intensidad nominal. Son mayormente utilizados para proteger líneas y funcionan a medida que aumenta la corriente su tiempo de operación disminuye. (Nava, 1995).

6.7.2. Relé de tensión

Similar al relé de sobrecorriente del cual existen dos tipos:

6.7.2.1. Relé de subtensión

Actúa cuando la tensión en la red disminuye a un valor peligroso para los dispositivos receptores. Son utilizados para proteger generadores y motores y trabajan a menor voltaje, menor tiempo de operación. (Nava, 1995).

6.7.2.2. Relé de sobretensión

Evita la elevación de la tensión de red, a mayores que la nominal, y son mayormente utilizados para proteger las líneas de distribución contra sobretensiones. (Nava, 1995).

6.7.3. Relé de tierra

Su función es señalar inmediatamente en redes conectadas en estrella que no posean puesta a tierra. De esta manera disminuyen la corriente en terminales a tierra a un valor no perjudicial, evitando así poner fuera de servicio los elementos afectados por el contacto a tierra. (Nava, 1995).

6.7.4. Relé diferencial

La misión del relé diferencial es comparar corrientes por los extremos de la línea. Operan únicamente cuando ocurren fallas internas; es decir, para fallas en donde se encuentra el equipo que se desea proteger. (Nava, 1995).

6.7.5. Relé a distancia

Entra en funcionamiento cuando se produce un cortocircuito en la línea, tiene la particularidad de funcionar en tres etapas, las dos primeras de protección principal y la tercera de respaldo. Es mayormente utilizado en líneas de media y alta tensión. (Nava, 1995).

6.8. Coordinación de protecciones

Se le llama así a la secuencia que debe existir entre los tiempos de operación de los diferentes tipos de relé, y preservar el sistema de protecciones. (Nava, 1995).

6.8.1. Información para realizar una coordinación de protecciones

A continuación se detalla la información necesaria para una correcta coordinación de protecciones:

6.8.1.1. Diagrama unifilar

Enseña los detalles del sistema completo, incluye los elementos de protección, especificando las conexiones de neutro al sistema de puesta a tierra. (Nava, 1995).

6.8.1.2. Diagrama de impedancia

Aquí se especifica la conexión de los elementos principales de la red, tales como transformadores, motores, generadores, etc. (Nava, 1995).

6.8.1.3. Análisis de cortocircuito

Especifica los valores máximos y mínimos de las corrientes de cortocircuito que pasan por los dispositivos de protección. Los cuales son estudiados bajo carga. (Nava, 1995).

6.8.1.4. Datos de calibración de los dispositivos

Son datos que se recopilan de los relés de protección y de los fusibles, como año de fabricación y curvas de tiempo. (Nava, 1995).

6.8.2. Procedimiento para realizar una coordinación de protecciones

- Realizar un análisis de fallas: creyendo que existen en ambos lados de la línea. De esto se obtienen diversos valores de corriente para los diferentes tipos de falla.
- Luego se selecciona el tap del relé: las protecciones primarias deben cubrir las zonas de protección y servir de respaldo a la siguiente sección de línea.

- Se calibra el relé más alejado de la fuente: debido a que puede ser calibrado para que opere con un tiempo mínimo.
- Calibrar el relé inmediatamente anterior: si se tiene calibrado el más alejado de la fuente, es posible obtener de su tiempo de operación, el tiempo para una falla anterior. (Nava, 1995).

7. PROPUESTA DE CONTENIDO DEL INFORME FINAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1. Generalidades del municipio

1.1.1. Historia

1.1.2. Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Municipal

1.1.3. Área de estudio

2. CARACTERÍSTICAS DE LA EVALUACIÓN

2.1. Levantamiento de red

2.2. Medición de la carga

2.3. Medición de la calidad del producto

2.3.1. Evaluación del índice de Frecuencia Media de Interrupción por kVA

2.3.2. Evaluación del índice de Tiempo Total de Interrupción por kVA

2.4. Pérdidas técnicas y no técnicas

3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
 - 3.1. Flujos de carga
 - 3.2. Regulación de tensión
 - 3.3. Análisis de reactivos
 - 3.4. Pérdidas técnicas y no técnicas
 - 3.5. Cumplimiento de la normativa
 - 3.6. Confiabilidad de la red
 - 3.7. Análisis de protecciones
 - 3.8. Análisis de criterios constructivos, estado de la red
 - 3.8.1. Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDROID)

4. PLAN DE MANTENIMIENTO Y MEJORAS A LA RED DE DISTRIBUCIÓN
 - 4.1. Evaluación técnica
 - 4.2. Evaluación económica
 - 4.3. Propuesta de mejora y plan de acción
 - 4.4. Planes de mantenimiento en puntos críticos
 - 4.5. Mantenimientos preventivos a la red
 - 4.6. Resultados de flujos de carga con mantenimientos propuestos
 - 4.6.1. Demanda máxima
 - 4.6.2. Demanda media
 - 4.6.3. Demanda mínima, hora no pico

5. ANÁLISIS DEL ESTUDIO

6. CONCLUSIONES
7. RECOMENDACIONES
8. BIBLIOGRAFÍA

8. MARCO METODOLÓGICO

El estudio será de tipo exploratorio-descriptivo; ya que la realidad ha sido poco estudiada, en cuanto al servicio de distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán. Toda la información será analizada y simulada para encontrar las fallas y los puntos críticos localizados. Con ello reconocer y ubicar los lugares en donde se necesite mantenimiento o la colocación de equipo de regulación.

La metodología para el análisis de la red de distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán cuenta con tres etapas, las cuales son:

- Primera: se recaudará toda la información de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán.
- Segunda: se comparará la información adquirida con las Normas Técnicas de Servicio y Distribución.
- Tercera: se presentarán los procedimientos de producción para el análisis del Servicio de Distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán, con el fin de encontrar oportunidades de mejora.

Las fases de la investigación se presentan a continuación:

- Primera: consistirá en reunir información de la calidad en el servicio de distribución que presenta la Empresa Municipal Rural de Electricidad de

Ixcán. Asimismo, la toma de datos georeferenciados, datos de equipos, y los valores necesarios correspondientes a los perfiles de tensión.

- Segunda: en esta fase se compararán los datos con las Normas Técnicas del Servicio de Distribución, para identificar indisponibilidades e interrupciones que signifiquen sanciones u otro tipo de llamada de atención.
- Tercera: se realizará el barrido de flujos de carga, análisis de cargabilidad y evaluación de las protecciones del sistema.
- Cuarta: tiene como objetivo identificar problemas, detectando qué zonas se encuentran sobrecargadas o son propensas a fallar en el momento de la demanda máxima. Se identificarán los lugares críticos, y con la ayuda del programa especializado para estudios eléctricos se colocará equipo de regulación o se programarán los valores para simular el mantenimiento.
- Quinta: recopilación de los resultados obtenidos y se compararán con el primer análisis de carga para realizar el estudio técnico. Consecuentemente se realizará el estudio económico para determinar la factibilidad del proyecto y se planteará el beneficio que representará para la comunidad.

9. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Se determinará la topología del terreno y por medio de investigaciones de campo se trazarán los puntos de carga de cada usuario que conforma la red de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán, con ello crear un perfil de tensión preciso para realizar un análisis de cargabilidad con la ayuda de corridas de flujos de carga.

Con la información remitida por la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán se procederá a realizar una corrida de flujos con ayuda del software especializado en estudios Neplan, el cual dará a conocer los puntos de sobrecarga y caída de tensión en la red de distribución eléctrica. Con los cálculos obtenidos se conocerá la curva de carga de demanda de históricos estadísticos y con ello determinar los índices de la calidad en el servicio de energía eléctrica identificando la periodicidad de interrupciones que sufre el sector.

Las corridas de flujos de carga servirán para realizar un balance de cargas y distribuir la carga de una manera más equitativa.

Al analizar el rendimiento de la red, con la ayuda de las corridas de flujo, se determinarán los puntos críticos de la red y así aplicar las rutinas de mantenimiento en donde sea necesario.

Luego se evaluarán los índices de calidad para comparar la mejoría del servicio de distribución eléctrica y determinar el impacto que las rutinas de

mantenimiento tienen en la mejora de la calidad de servicio de distribución de la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Las siguientes actividades fueron planificadas de acuerdo con la planificación la remisión de información.

Tabla I. Cronograma de actividades

Actividad	Descripción de la actividad	Meses					
		ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16
Fase I	Recopilación de información						
Fase II	Comparación con las NTSD						
Fase III	Análisis de flujos de cargabilidad						
Fase IV	Detección de puntos críticos, para aplicar regulación o mantenimiento						
Fase V	Recopilación de resultados y ejecución de los estudios técnicos y económicos						
Informe final							

Fuente: elaboración propia.

11. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

A continuación se presentan los recursos necesarios para la realización del diseño de investigación donde se incluye el programa especializado, la utilería y el personal necesario:

Tabla II. Recursos necesarios

Recursos	Disponibilidad
Recurso humano	Investigador: André Emanuel Larios Muralles Asesor (<i>ad honorem</i>): Ing. Byron Ibán Azurdia Co-Asesor (<i>ad honorem</i>): Jorge Iván Ávila Rosales
Financiero	Es necesario contar con la licencia del software Neplan actualizada, dicha licencia es proporcionada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Equipo de cómputo moderno	Se trabajará en las instalaciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, en donde se cuenta con el equipo de cómputo necesario para el uso de programas de simulación.
Acceso a la información	Toda la información técnica y económica las remite la empresa distribuidora de la energía eléctrica a la CNEE, dicha información está a disposición para el desarrollo del trabajo
Fuentes de financiamiento	Financiamiento propio.
Costos aproximado	<u>Costo técnico</u> : Q3 000,00 mensual; Q36 000,00 anual <u>Insumos</u> : Q250,00 mensual; Q3 000,00 anual <u>Total</u> : Q3 250,00 mensual; Q39 000,00 anual

Fuente: elaboración propia.

11.1. Recopilación de datos

Todos los datos respecto a medición, cargas, voltajes y amperajes, asimismo, las especificaciones de los equipos son remitidos a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica por la Empresa Municipal Rural de Electricidad de Ixcán.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Allan, R., Dialynas, E., & Homer, I. (1979). *Modelling and Evaluating the Reliability of Distribution Systems*. IEEE Power Apparatus and Systems, Vol. 6, Nro 6, 2181-2189.
2. Arriagada, A. (1985). *Cálculo de la confiabilidad en subestaciones y sistemas de distribución de energía eléctrica*. Concepción.
3. Arriagada, A., & Valdivia, F. (1989). *Predicción de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución*. VIII Congreso Chileno de Ingeniería Eléctrica, 219-224.
4. Baeza, R., Rodríguez, J., & Hernández, J. (2003). *Confiabilidad en una red de Distribución Eléctrica*. Colombia.
5. Bartholomay, M., Hanson, J., & Malamen, P. (2009). *Planificación de Sistemas de Distribución*. Colombia: Cooperative Research Network (CRN).
6. Billinton, R. (1988). *Distribution System Reliability Performance and Evaluation*. Electrical Power & Energy Systems, 190-200.
7. Billinton., R., & Bollinger, K. (1968). *Transmission system reliability evaluation using Markov processes*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems , 538-547.

8. Camargo, C. (1981). *Confiabilidad aplicada a sistemas eléctricos de Potencia*. Brasil: Ed. Livros Técnicos e Científicos.
9. Chacana, B., & Gutierrez, A. (1986). *Métodos de redes en los estudios de confiabilidad de los sistemas eléctricos de Potencia*. Anales I Seminario IEEE en Sistemas de Potencia, 22-25.
10. Duran, C., & Hernando. (1973). *Confiabilidad en Sistemas de Potencia, Aspectos Teóricos*. Biblioteca Jorge Roa.
11. CNEE. (2010). *Normas Técnicas de Servicio y Distribución*. Guatemala.
12. Nava, I.I.(1995). *Manual técnico de apoyo para la materia mantenimiento de subestaciones eléctricas*. Quito, Ecuador.
13. Peñaloza, A. (2006). *Aplicación del Programa NEPLAN al cálculo de fallos Simétricos y Asimétricos en Redes de Potencia*. Trabajo de Grado, Universidad de los Andes Mérida.
14. República, C. d. (1996). *Ley General de Electricidad*. Guatemala: Decreto 93-96.
15. Rodríguez, M. (1992). *Análisis de Sistemas de Potencia*. Editorial Ediluz.
16. Warren, C. M. (1992). *The effect of reducing momentary outages on distribution reliability indices*. IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 7, Nro. 3, 1610-1617.

