



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LA ZONA 12 DE 2016 A 2025, PARA SU REFORZAMIENTO MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN SUBTERRÁNEA (GIS) DE 69/13.8KV**

**Ariel Amilkar Tzoy Tzirín**

Asesorado por el MSc. Ing. Marco Antonio Juárez López

Guatemala, marzo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LA ZONA 12 DE 2016 A 2025, PARA SU REFORZAMIENTO MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN SUBTERRÁNEA (GIS) DE 69/13.8KV**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ARIEL AMILKAR TZOY TZIRÍN**

ASESORADO POR LA MSC. ING. MARCO ANTONIO JUÁREZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MARZO DE 2017

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. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto Padilla González
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 trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LA ZONA 12 DE 2016 A 2025, PARA SU REFORZAMIENTO MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN SUBTERRÁNEA (GIS) DE 69/13.8KV**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha marzo de 2013.

**Ariel Amílcar Tzoy Tzirín**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



**ADSE-MEAPP-022-2015**

Guatemala, 04 de agosto de 2016.

Director  
Francisco Javier 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 (la) estudiante **Ariel Amilkar Tzoy Tzírín** carné número **2008-19148**, 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 en Energía y Ambiente**.

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. Marco Antonio Juárez López  
Asesor (a)

*Marco Antonio Juárez López*  
Ingeniero Electricista  
Colegiado 3114

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

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

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



Cc: archivo  
/la

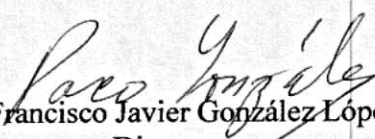




REF. EIME 07. 2017.  
Guatemala, 24 de FEBRERO 2017.

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: ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LA ZONA 12 DE 2016 A 2025, PARA SU REFORZAMIENTO MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN SUBTERRÁNEA (GIS) DE 69/13.8KV**, presentado por el estudiante universitario Ariel Amilkar Tzoy Tzirín 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





Universidad de San Carlos  
de Guatemala

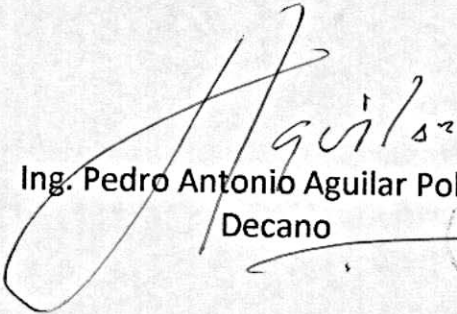


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 114.2017

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: ANÁLISIS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL DE LA ZONA 12 DE 2016 A 2025, PARA SU REFORZAMIENTO MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN SUBTERRÁNEA (GIS) DE 69/13.8KV**, presentado por el estudiante universitario: **Ariel Amilkar Tzoy Tzirín**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo de 2017

/gdech

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1.    Objetivo general .....	13
5.2.    Objetivos específicos.....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	17
8. MARCO TEÓRICO.....	19
8.1.    Fuentes de energía .....	19
8.2.    Energías primarias .....	19
8.3.    Energías secundarias.....	20
8.4.    Cobertura eléctrica en Guatemala.....	22
8.5.    Suministro de energía eléctrica .....	23
8.6.    Sector eléctrico en Guatemala .....	24



8.7.	Organización actual del subsector eléctrico .....	24
8.8.	Generadores .....	26
8.9.	Transportista .....	27
8.10.	Distribuidora .....	28
8.11.	Elementos de una red eléctrica .....	29
8.12.	Circuitos primarios.....	29
8.13.	Trasformador de potencia .....	30
8.14.	Subestaciones eléctricas.....	30
8.15.	Líneas de transmisión .....	31
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE .....	33
10.	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	35
10.1.	Energía.....	35
10.2.	Gestión y políticas energéticas ambientales .....	35
10.3.	Diseño .....	35
11.	METODOLOGÍAS .....	37
11.1.	Primera etapa.....	37
11.2.	Segunda etapa .....	38
11.3.	Tercera etapa.....	39
12.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	41
12.1.	Proyección de la demanda .....	41
12.2.	Series de tiempo .....	41
12.3.	Método de mínimos cuadrados .....	41
12.4.	Método de los semipromedios .....	42
12.5.	Parámetros eléctricos.....	42
12.6.	Flujos de carga.....	43

12.7.	Método de Newton – Raphson .....	43
12.8.	Caída de voltaje.....	43
12.9.	Análisis de contingencias .....	44
13.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	45
14.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIOS .....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Sector del subsector eléctrico en Guatemala, 2011 .....	25
2.	Participación de generación de energía eléctrica .....	26
3.	Cronograma .....	45

### TABLA

I.	Energías Primarias en miles de barriles equivalentes de petróleo – KBEP-, 2010 .....	20
II.	Energía Secundaria en miles de barriles equivalentes de petróleo – KBEP-, 2010 .....	21
III.	Índice de Electrificación Nacional, 2015.....	23
IV.	Oferta firme eficiente 2010 – 2011 .....	27
V.	Longitud en km de líneas del –SIN- por Empresa Transportista .....	27
VI.	Longitud en km de líneas del –SIN- por nivel de voltaje.....	28
VII.	Montos de inversión .....	48



# 1. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es suministrada mediante una red que involucra varios procesos y participantes entre los cuales se consideran: Generadoras, trasportistas, distribuidoras, grandes y pequeños usuarios, estos se encuentran situados en la mayor parte del territorio nacional y en los distintos sectores en Guatemala, es un recurso indispensable para el desarrollo del país, su importancia está directamente relacionada con la continuidad y eficiencia de los avances y desarrollos en la tecnología, educación, ingeniería, comunicación, economía, seguridad, informática; se necesita de un respaldo energético como el servicio de distribución eléctrica con alternativas que garanticen la calidad, estabilidad y confiabilidad.

Las soluciones sustentables son otro factor importante que es necesario considerar principalmente por la conservación del medio ambiente; Se necesita la implementación de tecnologías que brinden alternativas que conserven los recursos naturales y los ecosistemas asociados en el lugar de influencia directa, usando soluciones compactas y eficientes; Una tecnología que adapte a las limitantes son las subestaciones –GIS- (Gas Insulated Switchgear), que son subestaciones encapsuladas aisladas en gas Sf6 (Hexafloruro de azufre), esta tecnología de subestación comparada con las subestaciones convencionales AIS (Air Insulated Switchgear) representan un disminución en el dimensionamiento de aproximadamente 40 %. Su diseño encapsulado, compacto y aislado permite situarse en un espaciamentos reducidos y de difícil acceso (Rodríguez, 2013).



La investigación plantea instalar la nueva subestación –GIS- preliminarmente es un sótano de nueva infraestructura o una existente, provocando un impacto visual bajo en conjunto con la subestación, es necesario que los alimentadores y los circuitos de distribución tengan una transición aérea subterránea con ductos subterráneos y accesorios especiales por donde pasarán los conductores aislados y blindados, los conductores serán de acuerdo a la capacidad de corriente requerida que no supere los 90 °C y las configuraciones a utilizar; El aislamiento y apantallamiento deber ser considerado para contaminación y humedad media (Pedraza, 2013).

En el primer capítulo, se desarrolla con el análisis y descripción de infraestructura existente de los circuitos de distribución asociados a la zona 12, que provienen de la Subestación Aurora, analizando los parámetros mecánicos, eléctricos, derivaciones y clientes principales para obtener una estimación de la potencia instalada teórica. Posteriormente determinar las crestas máximas de demanda y energía, utilizando de referencia los valores más críticos.

En el segundo capítulo, se realizará un análisis de la demanda actual de energía y el crecimiento en los últimos diez años, los datos que se obtendrán como base y fundamento serán los datos de años anteriores, estos serán utilizados para el cálculo de proyección de la demanda de energía; Utilizando herramientas estadísticas y hojas cálculo se proyectará la demanda para intervalo de tiempo obteniendo funciones que modelen el comportamiento del consumo de energía.

En el tercer capítulo, se analizará la solución del crecimiento que se dará de consumo de energía, con la idea principal de Implementar una reestructuración a la red existente de distribución. Una de las alternativas propuestas involucra una nueva subestación en la Universidad de San Carlos

de Guatemala, considerando una tecnología –GIS- encapsulada y aislada en gas reduciendo el impacto al medio ambiente que es provocado durante la etapa de construcción y operación, en un porcentaje considerable por ser de menor tamaño con alimentadores subterráneos.

En el cuarto capítulo, se determinará el suministro de energía que se necesita para atender la futura demanda que se desea suplir y los recursos disponibles; Las subestaciones localizadas en la cercanía del área de influencia directa están en un nivel de tensión de 69 kilovoltios. Es necesario crear una nueva estructuración de líneas de transmisión que transportarán la potencia hacia la nueva subestación GIS, conforme las normas técnicas lo estipulan para garantizar la estabilidad del Sistema Nacional Interconectado -SIN-.

En el quinto capítulo, se desarrollarán cálculos de los parámetros eléctricos y mecánicos que serán propuestos, estos serán conforme las normas lo establezcan, según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, para los alimentadores de la subestación, nuevos circuitos de distribución, estructuras a utilizar, cimentaciones para equipos, cimentaciones para estructuras y sistemas de puesta a tierra para descargas electro atmosféricas.

En el sexto capítulo, se analizarán los resultados para la selección de equipos, materiales y criterios de diseño, esquemas de ubicación, siluetas y la elaboración de ingeniería básica como propuesta de reestructuración de la red de distribución.





## 2. ANTECEDENTES

El acceso a la energía eléctrica ha presentado un crecimiento desde el año 1970 hasta el año 2010 de un 55,5 % el promedio anual de un 1,93 % a nivel nacional, es un antecedente importante que lleva a preguntarnos ¿El acceso a la energía seguirá creciendo anualmente y hasta que porcentaje? Esto muestra una relación directa con el crecimiento poblacional que ha sido en promedio de 2,5 % anual en los últimos años hasta el 2013 (Cobertura Eléctrica en América Latina y el Caribe, 2012).

Se presenta una relación directa entre el consumo de energía y el producto interno bruto PIB, a diferencia de algunos países desarrollados que muestran una relación inversa, para impulsar el desarrollo es necesario el consumo de energía. Para ello se necesita cubrir la demanda de energía, esto crea la necesidad de fortalecer la red de suministro energético el cual representará una inversión inicial considerablemente grande ¿Al presentarse la necesidad de invertir será rentable? Este tipo de inversiones han demostrado tener rentabilidad a largo plazo, las entidades del sector energético se ven obligadas a invertir y buscar alternativas para suplir la futura demanda.

Actualmente, la empresa distribuidora que suministra la energía en la Ciudad de Guatemala es Empresa Eléctrica de Guatemala –EEGSA-, la cual tiene una trayectoria de 121 años desde su inicio en 1984, brindando el servicio de energía eléctrica en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía es considerada como un recurso vital para el desarrollo de un país en sus distintas formas, proviene de las diversas fuentes y existe una relación directa entre el desarrollo y el consumo de energía de los habitantes, el sector industrial, el sector comercial, el sector agricultor, investigación e infraestructura. Su comportamiento de consumo depende de la ubicación y el tipo de abastecimiento de energía.

Los recursos energéticos utilizados en nuestro país son diversos y dependen del nivel socioeconómico en que se encuentren, los habitantes y del acceso a energía primaria o secundaria; Las energías primarias son consideradas a las que provienen directamente de los recursos naturales y que pueden obtenerse directamente si ningún sub proceso, siendo el petróleo, gas natural, hidroenergía, leña, carbón mineral, geotérmica. A diferencia de las energías secundarias que son el resultado de la transformación de energía primaria, siendo la electricidad, gasolina, carbón vegetal, *fuel oil* (Informa de Balance Energético –MEM-, 2010).

El consumo de energía eléctrica en Guatemala está dividido en varios sectores como son comercio, servicio, residencial, Industrial con un porcentaje hasta el 2010 de 33 % del consumo total de energía eléctrica, esto muestra un porcentaje considerable que tiene gran influencia en el comportamiento que da como resultado un incremento de la demanda y energía (Cobertura Eléctrica en América Latina y el Caribe, 2012).

La investigación tiene un área de influencia directa en la ciudad de Guatemala específicamente en la zona 12 en la Avenida Petapa y Calzada Atanacio Tzul, donde se concentra en el sector industrial que representa ingresos económicos significativos para la empresa distribuidora Empresa Eléctrica de Guatemala –EEGSA-, por esa razón se necesita realizar estudios a la red de distribución existente como parte de la planificación y proyección de activos; La información podrá generar alternativas que responderán al incremento de la demanda anual.

La importancia de generar soluciones y proyecciones para responder al incremento de la demanda de energía, crea una oportunidad en el sector eléctrico de investigación, los recursos que se tienen son limitados y es necesario establecer un rango o frontera para esta investigación; el análisis será proyectado para el año 2025, utilizando de referencia el comportamiento de la red de 10 años anteriores que corresponden al 2005 – 2010.

Lo anterior descrito da como resultado una interrogante principal:

¿Cuál es la problemática que se produciría si el incremento de la demanda en el sector industrial asociado a la zona 12 de la ciudad de Guatemala, no se considera y la red existente se sature? ¿Qué alternativas pueden brindarse que sean soluciones viables técnicamente y que disminuyan el impacto que podría ser causar al medio ambiente?

El complemento que requiere la interrogante principal contempla las siguientes interrogantes secundarias:

1. ¿La estructura de la red de distribución existente en que porcentaje de uso se encuentra y cuál es el estado del comportamiento eléctrico y mecánico?
2. ¿Los valores máximos de demanda y energía generaran una saturación en la red existente para el año 2025 y qué problemas representa?
3. ¿La implementación de una subestación GIS será técnicamente viable como soporte a la red existente de distribución? ¿cuál será impacto que generará en el medio ambiente?



## 4. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un país se relaciona directamente con el Producto Interno Bruto –PIB- y el consumo de energía eléctrica, en el caso de nuestro país se presentan grandes retos en el sector energético, por el incremento de energía anualmente, el desarrollo que la investigación plantea estará enfocado específicamente a la red de distribución de 13.8 kV existente, en el departamento de Guatemala específicamente en la zona 12, se relaciona con la distribuidora Empresa Eléctrica de Guatemala -EEGSA-.

La energía que la empresa distribuidora aporta a la red de distribución para suplir la demanda es aportada por los transformadores de potencia, estos dispositivos que se encuentran en la subestaciones de transformación tienen una capacidad máxima de transformación, estos tienen un número limitado de circuitos de distribución que se pueden conectar. La subestación que tiene incidencia directa es la subestación Aurora, esta subestación tiene actualmente 4 circuitos distribución existentes y una capacidad instalada de 15/28 MVA. Esta suministra energía a la zona 12 que se considera como el sector industrial.

Los circuitos de distribución existentes de mayor capacidad utilizan conductor Dahlia 556.5 kcmil AAC, con una capacidad de 703 amperios y un nivel de tensión de 13.8 kV, siendo la capacidad límite que el circuito de distribución puede suministrar, si los circuitos superan esas capacidades comprometerían la red de distribución y no podrían atender el incremento de la futura demanda de energía que se estima para el 2025.



La saturación de los circuitos de distribución se producen cuando estos son llevados al límite máximo de operación, esto genera aumento en la temperatura y reduce las propiedades mecánicas del conductor, provocando disparos en las protecciones de la subestación sacando de funcionamiento el circuito de distribución afectando, esto afecta directamente a los usuarios al no tener continuidad en el suministro de energía, así mismo poder generar perturbaciones transitorias de energía eléctrica que pudieran ocasionar daños momentáneos o permanentes a las instalaciones y equipos de los usuarios conectados.

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE- es la encargada de garantizar y regular los sistemas de redes de distribución del sistema eléctrico nacional, vela por el cumplimiento de los derechos de los usuarios basándose en leyes y reglamentos; En la Resolución –CNEE- 68-2001 establece el control de la calidad del servicio comercial de la distribución de la energía eléctrica, en ella se estipulan lineamientos, cumplimientos y sanciones para las empresas distribuidoras, se tiene un gran responsabilidad y compromiso (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2010).

La importancia de la continuidad del suministro de energía eléctrica para la red de distribución en el 2025, es fundamental así como un soporte energético en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, principalmente en los sectores de Universidad de San Carlos de Guatemala, Avenida Petapa, Calzada Atanasio Tzul, al sector industrial para grandes y pequeños usuarios.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Analizar los circuitos de distribución de 13.8 kV que están asociados al sector industrial de la zona 12 y proyectar la carga para el año 2025, logrando reestructurar y reforzar la red por medio de una subestación subterránea (GIS) de 69/13.8 kV, en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **5.2. Objetivos específicos**

1. Analizar la estructura y los circuitos de distribución existentes de 13.8 kV que suministran energía al sector industrial en la zona 12 de la ciudad.
2. Determinar y proyectar la demanda máxima y energía consumida para el año 2025, debido al crecimiento poblacional y de infraestructura.
3. Reestructurar la circuitos de distribución existentes medio de una Subestación (GIS) de transformación 69/13.8 kV subterránea.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

El incremento de la demanda energética que se presentará en el futuro, crea una necesidad de suplir ese incremento de energía, en el área de influencia directa de la investigación es asociada a la zona 12 de Guatemala específicamente en la avenida Petapa y Calzada Atanasio Tzul, que están directamente relacionados con el crecimiento poblacional, infraestructura, comercios, desarrollo tecnológico y sectores industriales asociados.

El análisis de proyección será para un tiempo de 10 años, para lograr obtener una referencia que garantice la continuidad y estabilidad del servicio que se le brinda a grandes y pequeños usuarios, que se encuentran conectados a los circuitos de distribución existentes; la seguridad que se necesita es factor importante, por lo que es necesario tener un soporte ante cualquier contingencia que se pudiera presentar por: alguna sobre carga, caídas de tensión, disparos de protecciones y desbalances en red de distribución.



## **7. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

La investigación no tendrá el planteamiento de una hipótesis.





## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1. Fuentes de energía**

La energía se representada como la capacidad que un cuerpo tiene para realizar un trabajo en un intervalo de tiempo que da como resultado movimiento, las distintas fuentes son utilizadas directamente o mediante proceso de transformación que satisface a una necesidad o proceso, las energías son divididas en dos grupos que son: Energía Primaria y Energía Secundaria.

### **8.2. Energías primarias**

Se denomina energía primaria a la obtenida directamente de los recursos naturales que no necesitan de un subproceso o transformación para ser utilizadas, estas son las empleadas para la generación de energía secundaria. Para el año 2010, la producción de energía primaria fue de 54,264.72 –KBEP-, este valor con respecto al año 2009 tuvo un incremento del 9.52 %, este incremento obedece principalmente al aumento en la producción de petróleo crudo nacional; las energías primarias en Guatemala, se puede mencionar a la hidroenergía, la leña, el bagazo de caña (Informe Balance Energético –MEM-,2010).

Tabla I. **Energías primarias en miles de barriles equivalentes de petróleo –KBEP-, 2010**

ACTIVIDADES	PETR	CRBN	HYDR	GEOE	LEÑA	BCAÑ	Total Primarias
Producción	4,331.90	0.00	2,981.10	1,679.10	37,253.01	8,019.61	54,264.72
Importación	0.00	2,878.72	0.00	0.00	0.00	0.00	2,878.72
Exportación	3,692.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,692.95
Variación Inventario	-144.83	-400.19	0.00	0.00	0.00	0.00	-545.03
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>494.12</b>	<b>2,478.53</b>	<b>2,981.10</b>	<b>1,679.10</b>	<b>37,253.01</b>	<b>8,019.61</b>	<b>52,905.47</b>
Refinerías	-494.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-494.12
Centrales Eléctricas	0.00	-2,478.53	-2,963.79	-1,679.10	0.00	-5,613.72	-12,735.14
Autoprodutores	0.00	0.00	-17.31	0.00	0.00	-2,405.88	-2,423.20
<b>TOTAL TRANSFORMACION</b>	<b>-494.12</b>	<b>-2,478.53</b>	<b>-2,981.10</b>	<b>-1,679.10</b>	<b>0.00</b>	<b>-8,019.61</b>	<b>-15,652.45</b>
Consumo Propio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pérdidas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ajuste	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Transporte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Industria	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Residencial	0.00	0.00	0.00	0.00	36,135.42	0.00	36,135.42
Comercio y Servicios	0.00	0.00	0.00	0.00	1,117.59	0.00	1,117.59
<b>CONSUMO ENERGETICO</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>
NO ENERGETICO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>	<b>0.00</b>	<b>37,253.01</b>

Fuente: Informe Balance Energético –MEM-,2010.

### 8.3. Energías secundarias

Se denomina a las energías que son el resultado de un proceso que implica una transformación que en algunos casos se necesita de una fuente adicional, siendo este el medio de transformación físico, químico o bioquímico; Las energías secundarias tienen varias aplicaciones como: electricidad,

combustibles, gas natural y su principal característica es que no se puede obtener de recursos naturales; para el año 2010 el total de la Oferta Interna de Energía Secundaria fue de 23 852,05 –KBEP-, inferior en un 10,09 % respecto a la oferta del año anterior (Informe Balance Energético –MEM-,2010).

Tabla II. **Energía secundaria en miles de barriles equivalentes de petróleo –KBEP-, 2010**

ACTIVIDADES	ELEC	GLP	GAS	KER	DOIL	FOIL	COQE	NOEN	Total Derivados de Petróleo	Total Secundarias
Producción	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Importación	224.5	2,666.9	7,653.1	560.9	8,947.2	4,056.1	625.4	78.4	24,587.9	24,812.4
Exportación	86.1	760.0	235.1	0.0	216.0	64.2	0.0	138.5	1,413.9	1,500.0
Variación Inventario	0.0	-24.2	-126.5	12.5	453.4	-134.0	340.5	18.0	539.6	539.6
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>138.4</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.5</b>	<b>573.4</b>	<b>9,184.5</b>	<b>3,857.8</b>	<b>965.9</b>	<b>-42.2</b>	<b>23,713.6</b>	<b>23,852.0</b>
Refinerías	0.0	0.0	0.4	3.1	167.9	0.0	0.0	297.8	469.2	469.2
Centrales Eléctricas	5,055.1	0.0	0.0	0.0	-11.0	-2,922.5	0.0	0.0	-2,933.5	2,121.6
Autoproductores	455.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-145.0	0.0	0.0	-145.0	309.9
<b>TOTAL TRANSFORMACION</b>	<b>5,510.1</b>	<b>0.0</b>	<b>0.4</b>	<b>3.1</b>	<b>157.0</b>	<b>-3,067.6</b>	<b>0.0</b>	<b>297.8</b>	<b>-2,609.4</b>	<b>2,900.7</b>
Consumo Propio	236.1	0.0	0.4	3.1	167.9	0.0	0.0	0.0	171.4	407.5
Pérdidas	735.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	735.4
Ajuste	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Transporte	0.0	18.8	7,109.5	275.2	8,439.6	0.0	0.0	0.0	15,843.2	15,843.2
Industria	1,892.2	376.5	145.6	34.4	733.9	790.3	965.9	0.0	3,046.6	4,938.8
Residencial	1,530.7	1,449.7	0.0	252.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1,702.0	3,232.7
Comercio y Servicios	1,254.0	37.7	36.4	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	85.5	1,339.5
<b>CONSUMO ENERGETICO</b>	<b>5,648.5</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.9</b>	<b>576.5</b>	<b>9,341.5</b>	<b>790.3</b>	<b>965.9</b>	<b>0.0</b>	<b>20,848.7</b>	<b>26,497.2</b>
NO ENERGETICO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	255.6	255.6	255.6
<b>CONSUMO FINAL</b>	<b>5,648.5</b>	<b>1,882.7</b>	<b>7,291.9</b>	<b>576.5</b>	<b>9,341.5</b>	<b>790.3</b>	<b>965.9</b>	<b>255.6</b>	<b>21,104.3</b>	<b>26,752.8</b>

Fuente: Informe Balance Energético –MEM-,2010.

#### 8.4. Cobertura eléctrica en Guatemala

Se determina mediante un parámetro cuantificable conocido como el índice de electrificación a nivel nacional y es expresado en un porcentaje, donde se relaciona la cantidad de viviendas totales a nivel nacional, departamental y municipal. La metodología empleada necesita valores de entrada de la cantidad de viviendas a nivel nacional, esta información es la base para hacer el cálculo y es proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística –INE-. Los datos que también son utilizados son los de las viviendas que tienen acceso al servicio de energía eléctrica y son proporcionados por las empresas distribuidoras y empresas eléctricas municipales, de un año determinado de servicio (Índice de Cobertura Eléctrica –MEM-, 2015).

La expresión utilizada para el cálculo del índice de electrificación nacional es la siguiente:

$$\text{Índice de Electrificación Nacional} = \frac{\text{Viviendas con energía eléctrica}}{\text{Viviendas totales}} * 100$$

A finales del año 2015, en diciembre, el índice de electrificación nacional fue de 91,96 % con una cantidad de usuarios con acceso al servicio eléctrico de 3 025 211 de un total de 3 289 945 viviendas.

Tabla III. Índice de Electrificación Nacional, 2015

Departamento	Viviendas	Usuarios	ÍNDICE
Alta Verapaz	192,838	85,016	44.09%
Petén	118,850	79,186	66.63%
Baja Verapaz	58,445	48,119	82.33%
Izabal	80,421	68,599	85.30%
Quiché	162,706	141,776	87.14%
Jalapa	65,315	57,641	88.25%
Chiquimula	82,160	72,919	88.75%
Suchitepequez	107,133	97,197	90.73%
Huehuetenango	213,334	199,827	93.67%
Jutiapa	108,788	102,489	94.21%
Retalhuleu	64,929	61,579	94.84%
San Marcos	193,743	186,683	96.36%
Zacapa	58,492	56,666	96.88%
Escuintla	175,159	169,870	96.98%
Santa Rosa	81,503	79,161	97.13%
Totonicapán	89,783	88,156	98.19%
Sololá	77,915	76,573	98.28%
Chimaltenango	117,186	115,410	98.48%
Quetzaltenango	185,145	183,538	99.13%
El Progreso	43,895	43,637	99.41%
Sacatepéquez	89,892	89,619	99.70%
Guatemala	922,314	921,850	99.95%
<b>ÍNDICE A NIVEL NACIONAL</b>	<b>3,289,945</b>	<b>3,025,511</b>	<b>91.96%</b>

Fuente: índice de cobertura eléctrica –mem-, 2015.

## 8.5. Suministro de energía eléctrica

La energía se considera como el motor que impulsa el desarrollo de nuestro país, tiene un gran campo para ser estudiado y gran importancia para brindar el servicio a personas del área rural que tienen escaso acceso a la

energía eléctrica. Los proyectos de expansión de generación y transporte están enfocados para atender la demanda que exige nuestro país, proporcionando un sistema de distribución que brinde confiabilidad, estabilidad y continuidad para grandes y pequeños usuarios del sector energético en Guatemala.

El servicio de energía eléctrica es evaluado a través de índices de desempeño teniendo dos orientaciones diferentes que son: el registro de eventos pasados y la predicción de confiabilidad. Las empresas de servicio de distribución normalmente llevan un registro estadístico de los eventos pasados, con los cuales pueden evaluar el desempeño de sus sistemas y algunos indicadores económicos como lo es la energía no suministrada. La predicción de índices de confiabilidad pretende determinar el comportamiento que tendrá la red de distribución basándose en el desempeño del comportamiento que ha mostrado en el tiempo transcurrido, esto ayudara en la toma de decisiones sobre modificaciones de elementos o componentes de la red y/o topología (Agustín, 2005).

## **8.6. Sector eléctrico en Guatemala**

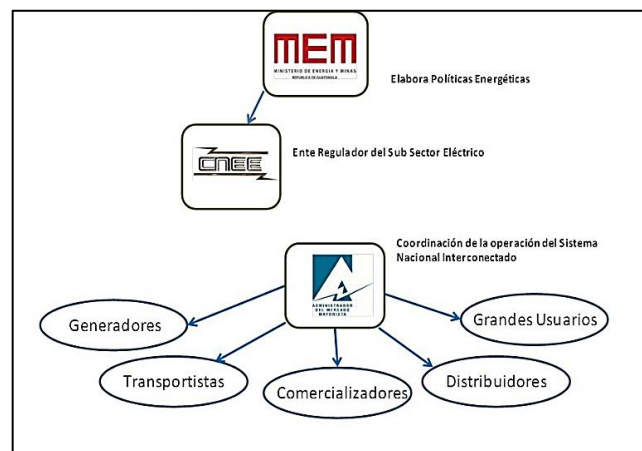
A continuación se describe el sector eléctrico en Guatemala.

## **8.7. Organización actual del subsector eléctrico**

El Ministerio de Energía y Minas –MEM- es encargado de aplicar la ley establecida y vigente mediante políticas y reglamentos; La Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE- tiene como función velar por que se cumpla las leyes y reglamentos de todos lo usuarios, evitando anomalías y comportamiento ilícito y se encarga de la regulación de las tarifas de transmisión y distribución, es la encargada de emitir Normas Técnicas;

Administrador del Mercado Mayorista –AMM- es el encargado del sistema de despacho de la operación tenga un respaldo del correcto funcionamiento durante las transacciones de los agentes en importación y exportación de energía (Informe de Labores –CNEE-,2002).

Figura 1. **Sector del subsector eléctrico en Guatemala, 2011**



Fuente: Análisis de Sectores Económicos –SIB-, 2011.

En el subsector eléctrico guatemalteco se distinguen cinco participantes: Generadores, Transportistas, Distribuidores, Comercializadores y Grandes Usuarios; el Artículo 6 de la Ley General de Electricidad establece las definiciones para cada uno de ellos, siendo estas: a) Un Generador es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad. b) El Transportista es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad. c) El Distribuidor es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica. d) Un Comercializador es la persona,

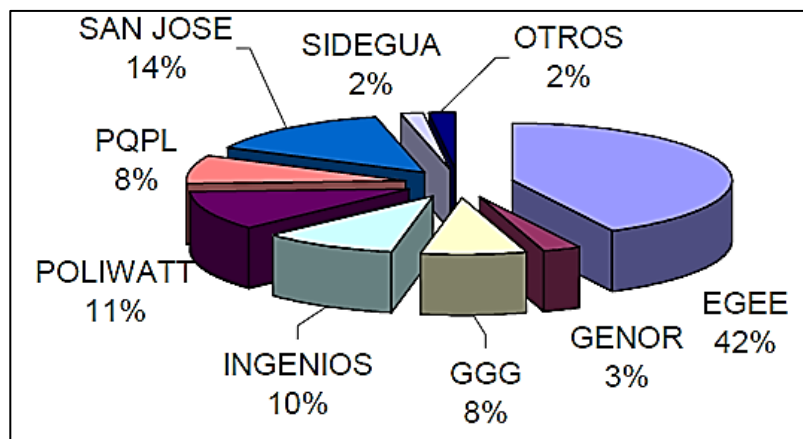


individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo. e) Un Gran Usuario es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la Ley General de Electricidad (Perspectivas de Mediano Plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional –CNEE-).

### 8.8. Generadores

La generación de energía eléctrica en Guatemala proviene de distintas fuentes de energía entre los cuales se mencionan los recursos naturales consideradas como energías renovables, por el otro lado, están los combustibles fósiles, el carbón y los derivados del petróleo que son considerados como energías no renovables; entre las generadoras más importantes se muestran en la gráfica número 1.

Figura 2. Participación de generación de energía eléctrica



Fuente: Informe de Labores –CNEE-, 2002.

Tabla IV. **Oferta firme eficiente 2010 – 2011**

Tipo de Combustible	MW	%
Geotermia	27.69	1%
Carbón	143.45	7%
Ingenio (bunker, no zafra)	157.10	8%
Diesel	135.27	7%
Biomasa (zafra)	208.02	11%
Hidro	665.97	34%
Bunker	642.74	32%
Total	1980.24	100%

Fuente: Perspectivas de mediano plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional –CNEE-.

## 8.9. Transportista

Un transportista es el encargado de llevar paquetes de energía por un medio físico, por el cual la energía que se genera es llevada hasta los puntos considerados nodos, donde es entregado a las empresas distribuidoras. Los niveles de tensión que están normados para las líneas de transmisión que son utilizadas por las transportistas en Guatemala son: 230 kV, 138 kV, 69 kV. Las transportistas se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Longitud en km de líneas del –SIN- por Empresa Transportista**

Empresa Transportista	Longitud (km) por nivel de Voltaje			Total
	230 kV	138 kV	69 kV	
Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica	669	297	1432	2398
Redes Eléctricas de Centroamérica, S.A.	-	-	696	696
Duke Energy Intenational Transmision Guatemala, Ltda	33	-	-	33
Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A.	64	-	559	623
Total	766	297	2687	

Fuente: Perspectivas de mediano plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional –CNEE-.

Tabla VI. **Longitud en km de líneas del –SIN- por nivel de voltaje**

Voltaje (kV)	Longitud (km)
230	766
138	297
69	2687
Total	3750

Fuente: Perspectivas de mediano plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional –CNEE-.

### 8.10. Distribuidora

La energía eléctrica utilizada por pequeños y grandes usuarios pueden ser empresas e industrias que utilizan la energía. La energía que producida por las generadoras es necesario transportarla hasta el punto de consumo, se necesita entonces un sistema de alimentación de energía eléctrica denominada sistema de distribución; En Guatemala es normado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE-, los niveles de tensión se encuentran entre 34,5 kV – 13,8 kV; Las distribuidoras que brindan el servicio de energía eléctrica en Guatemala son: Empresa Eléctrica de Guatemala -EEGSA-, Energuate y Empresas Municipales.

El sistema de distribución en Guatemala está conformado por redes de distribución que operan en media tensión. En Guatemala son tres las principales empresas que prestan el servicio de distribución de energía eléctrica, existen también las empresas municipales en algunos departamentos que brindan este servicio, en la siguiente tabla se muestra así como la región en la cual prestan el servicio (Perspectivas de mediano plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional –CNEE).

El sistema de distribución debe cumplir con la función primordial de recibir energía eléctrica de grandes fuentes y brindársela a los consumidores en un nivel de voltaje regulado con una confiabilidad adecuada para los diversos tipos de usuarios (Ríos, 2010). El sistema de distribución está conformada por una red radial de circuitos provenientes de una subestación de transformación, que cuenta con una capacidad instalada en VA, esta capacidad depende del sector en que se localice de manera que la cantidad de circuitos en una red de distribución pueden variar según los niveles de consumo de energía y la industrialización del sector.

#### **8.11. Elementos de una red eléctrica**

A continuación se describen los elementos de una red eléctrica.

#### **8.12. Circuitos primarios**

Los circuitos primarios o alimentadores se encargan de trasladar la energía de la barra de transformación común de las subestaciones, a la red de distribución y los transformadores eso a su vez entregarán la energía para el consumo final de grandes y pequeños usuarios. Estos sistemas pueden ser aéreos y subterráneos, las instalaciones aéreas en comparación con las subterráneas tienen costo iniciales bajos y son las más predominantes, tanto en la ciudad como en las poblaciones rurales y las instalaciones subterráneas se consideran en los casos en donde exista alguna complicación o instalaciones para medianos usuarios (Ríos, 2010).

### **8.13. Transformador de potencia**

Es un equipo que indispensable entre los sistemas de transmisión y los sistemas de distribución, considerado como acople eléctrico el cual utiliza dos niveles de tensión diferentes en sus entradas, pero con la misma potencia en VA, estos utilizan tensiones que van desde 500 kV hasta 13,8 kV, según la capacidad que se requiera en la subestación, este equipo es conformado por dos bobinas colocadas de tal forma que están inducidas por el mismo flujo magnético.

En un transformador de potencia, las bobinas se colocan sobre un núcleo de acero para concentrar el flujo magnético de manera que se enlace una bobina con la otra y se reduzcan las pérdidas. Se pueden conectar varias bobinas en serie o en paralelo para formar un devanado cuyas bobinas se apilan en el núcleo de manera alternada con aquellas de demás devanados (Stevenson, 1996).

### **8.14. Subestaciones eléctricas**

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados parámetros. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección (Mejilla, 1989).

La energía que es utilizada y transformada por las subestaciones de transformación para el sistema de distribución, es transportada por medio de una línea de transmisión de determinado nivel de tensión desde las

generadoras de energía que por lo general se localizan en distancias grandes con relación a los centros de carga, así las subestaciones brindan la energía eléctrica para suplir la demanda.

### **8.15. Líneas de Transmisión**

Es considerado como el medio por el cual se transporta la energía eléctrica y señales de un punto a otro; específicamente desde una fuente hasta los nodos donde existen nodos de conexión de carga. Una generadora hidroeléctrica necesita el medio por el cual llevar toda la energía a las subestaciones que están a distancias considerables. La interconexiones que se ha estado dando entre países como un respaldo energético, es un campo de aplicación para las líneas de transmisión además de la aplicación que comúnmente se conoce. (Hayt, 2006).



## 9. PROPUESTA DE ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. ESTRUCTURA DE LOS CIRCUITOS PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN

- 1.1. Parámetros de los circuitos de distribución
- 1.2. Especificaciones eléctricas y mecánicas
- 1.3. Circuitos principales y derivaciones
- 1.4. Capacidad de transformación instalada
- 1.5. Demanda máxima y energía

### 2. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA MÁXIMA Y ENERGÍA SUMINISTRADA

- 2.1. Investigación del historial de medición de los circuitos
- 2.2. Antecedentes de la capacidad de la subestación suministradora
- 2.3. Análisis estadístico de la demanda y energía
- 2.4. Modelado de comportamiento mensual y anual
- 2.5. Proyección de comportamiento mensual y anual



3. REESTRUCTURACIÓN DE LA RED MEDIANTE UNA SUBESTACIÓN (GIS)
  - 3.1. Comparación de tecnología (GIS) y (AIS)
  - 3.2. Implementación de Subestaciones (GIS) en Guatemala
  - 3.3. Especificaciones y parámetros eléctricos subestación (GIS)
  - 3.4. Ubicación y localización de subestación (GIS)
  - 3.5. Transición aérea subterránea de líneas
  
4. ALIMENTADORES DE LA SUBESTACIÓN (GIS)
  - 4.1. Estructura de líneas de transmisión en 69 KV existentes
  - 4.2. Seccionamiento de línea de transmisión en 69 KV asociada
  - 4.3. Selección y justificación del trazo de línea de transmisión
  - 4.5. Estructuras y cimentaciones
  - 4.6. Sistemas de puestas a Tierra
  
5. SUMINISTROS DE MATERIALES EQUIPOS Y ESTRUCTURAS
  - 5.1. Especificaciones eléctricas y mecánicas del conductor
  - 5.2. Selección de estructuras
  - 5.3. Selección de herrajes y accesorios
  - 5.4. Sistemas de puestas a tierra
  - 5.5. Readecuación de nuevos circuitos de distribución
  
6. RESULTADOS
  - 6.1. Presentación de resultados
  - 6.2. Discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS

ANEXOS

## **10. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

### **10.1. Energía**

Uso eficiente de la energía: uso eficiente en edificaciones y pérdidas en los sistemas.

Conservación de la energía: Sistemas de transporte, transmisión y cogeneración.

### **10.2. Gestión y políticas energéticas ambientales**

Economía, política y planificación energética: Alternativas de aprovechamiento energético, impactos económicos, financieros y ambientales, análisis de la matriz energética nacional.

Evaluación de impactos ambientales en el sector energético y aspectos institucionales y legales: Elaboración de proyectos energéticos y manejo ambiental en el sector energético.

### **10.3. Diseño**

Diseño y operación de proyectos solares y eólicos: Principios de energía solar térmica, eólica y fotovoltaica.



## 11. METODOLOGÍAS

### 11.1. Primera etapa

La investigación tiene planteados tres objetivos específicos que se desean alcanzar, para ello es necesario tres etapas.

Se presenta un poco de dificultad para poder identificar la problemática que se desea conocer debido a que se presentará hasta el año 2025, actualmente no se presenta problema alguno, por lo que es necesario primero conocer la estructura de los cuatro existentes circuitos de distribución primarios provenientes de la subestación la Aurora, determinar circuitos principales las derivaciones que donde se encuentran conectados los usuarios en media tensión o circuitos secundarios, el estado de la red y puntos críticos.

Determinar la capacidad instalada de transformadores de baja tensión y el estado físico para los equipos y estructuras de soporte, determinando todos los factores que corresponden a la parte mecánica, también información de los parámetros eléctricos que son: relación de transformación, potencia instalada, demanda máxima, factor de carga, energía consumida, los parámetros que se han mencionado serán utilizados como valores de entrada para simular los flujos de carga.

Es necesario utilizar un software que modele los parámetros de entrada el comportamiento de la red, un software reconocido que utilizado para estudios de transmisión y distribución es el NEPLAN, entre sus funciones esta la simulación y análisis de flujos de carga, análisis de corto circuito, análisis de

contingencia, estabilidad de voltaje. La información obtenida del software será utilizada para iniciar con la siguiente etapa.

## **11.2. Segunda etapa**

El comportamiento de una variable representada en el tiempo tiene un comportamiento difícil de establecer, para el análisis de datos y modelar una variable se necesita conocer sus antecedentes. La investigación plantea una proyección del año actual hasta el año 2025, se necesita analizar los datos de años anteriores y una buena estimación serían los datos desde el año 2000 que fue el inicio del nuevo milenio.

El análisis de proyección de la demanda de energía se necesita establecer un intervalo de tiempo a largo plazo que haya transcurrido, para determinar el comportamiento en el futuro. Los métodos de series de tiempo y econométricas serán la utilizadas por tener el respaldo en otras investigaciones, es necesario determinar las variables cuantitativas así como la definición de la variables que serán dependientes y las que serán independientes.

Las variables independientes que se mencionan son: energía, demanda, combustibles a diferencia de las dependientes que son: tiempo, precios, actividad económica, con esta definición de las variables se desea obtener una proyección de un largo plazo hacia adelante, es necesario también tomar en consideración el comportamiento del producto interno bruto, combustibles, climatología, etc. Los modelos matemáticos de aproximación comprenderán de una relación entre métodos de regresión y series de tiempo que ha sido usada para proyecciones energéticas, con el software de Microsoft Excel se realizan los cálculos para obtener una serie de datos que serán utilizados para

determinar el crecimiento de la demanda y proceder a simular los parámetros en la siguiente etapa.

### **11.3. Tercera etapa**

La última etapa de la investigación comprende una simulación con el software NEPLAN que permitirá determinar si los parámetros eléctricos siguen siendo estos iguales a los de la primera etapa, con el análisis de flujos de carga, análisis de corto circuito, análisis de contingencia, estabilidad de voltaje. Los resultados obtenidos serán utilizados para iniciar los cálculos de parámetros eléctricos, para la especificación técnica de los materiales y sus características mecánicas para iniciar con el pre diseño.

Los alimentadores de la subestación (GIS) son importantes, estos suministrarán potencia y energía a la subestación para transformar esa potencia y aportarla a la red de distribución, preliminarmente se tiene propone una línea de transmisión de doble circuito con una transición aérea – subterránea en 69 kV. Es necesario puntos de conexión más cercanos a la nueva subestación que estará localizada en la Universidad de San Carlos.

La potencia de transformación obtenida podrá abastecer a nuevos circuitos de distribución que serán conectados a la red existente, para reforzar la capacidad de la red existente y estar preparado cuando se presente el incremento de la demanda máxima. Los nuevos circuitos que se tienen contemplados son tres circuitos y tendrán circuitos principales y secundarios, también se tendrá ramales para conexión a circuitos existentes, conexión para grandes usuarios, para finalizar con retiro de tramos de circuitos en mal estado y estructuras deterioradas.



## **12. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

### **12.1. Proyección de la demanda**

A continuación se describirá la proyección de la demanda.

### **12.2. Series de tiempo**

Son datos que son obtenidos en intervalos de tiempo que se presentan en años, meses, días para analizar la problemática o investigación que se desea realizar con datos matemáticos que tienen valores de salida de la variable a analizar reflejado en valores  $y_1, y_2, y_3$ . Modelar el paso de los años utilizando valores de entrada  $x_1, x_2, x_3$  se obtienen puntos coordenados  $(x, y)$  mediante la función:

$$y = f(t)$$

Las proyecciones estimadas serán basadas en condiciones estables con factores que tuvieron un comportamiento en el pasado y seguirán haciéndolo en el futuro de los métodos que se pueden mencionar son:

### **12.3. Método de mínimos cuadrados**

Se basa en conjunto de pares ordenados que intenta buscar una función continua con una mayor aproximación y utilizando el criterio de mínimo error cuadrático basados en el ajuste de curvas.



Sea el polinomio:

$$P(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Se calcula la cantidad:

$$S = \sum_{i=0}^m (P(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n - y_i)^2$$

#### 12.4. Método de los semipromedios

Su principal característica consiste en separar los datos en dos grupos iguales, se necesita determinar el valor central obteniendo dos puntos para conformar parte de la línea de tendencia, los valores son ingresados al siguiente sistema:

Sean las ecuaciones:

$$y_1 = a_0 + a_1x_1$$

$$y_2 = a_0 + a_1x_2$$

Recta de tendencia:

$$Y = a_0 + a_1X$$

#### 12.5. Parámetros eléctricos

A continuación se describen los parámetros eléctricos.

## 12.6. Flujos de carga

El análisis y el comportamiento del estado en régimen de estado permanente en un sistema eléctrico, es fundamental determinar las variaciones ocasionadas o maniobras y el comportamiento de la carga en condiciones normales y anormales de operación, estas puedan dar lugar a fallas que ocasionen la salida forzada de una línea de transmisión o transformador.

## 12.7. Método de Newton – Raphson

Los voltajes complejos  $V_k$  se calculan de tal manera que  $\Delta S_i$  se acerque a cero, las potencias predefinidas  $P_i$  y  $Q_i$ . Donde  $Y_{ik}$  es un elemento que conforma la matriz de admitancias  $Y$ . (NEPLAN V5 Guía del usuario)

Ecuación de error para nodo  $i$ :

$$\Delta S_i = (P_i - j \cdot Q_i) - V_i \cdot \sum_{k=1}^n Y_{ik}^* \cdot V_{ik}^*$$

## 12.8. Caída de voltaje

El cálculo es aplicado a los tipos de redes que son radiales. Este tipo de redes tienen solamente un punto de alimentación o Nodo Slack, haciendo referencia a la carga, la potencia activa y reactiva total, el voltaje de un nodo anterior o posterior al Nodo Slack. (NEPLAN V5 Guía del usuario).

Se calcula mediante la expresión:

$$V_{K1} = V_{SI} - Z_L \cdot \frac{S_1^*}{V_{SI}^*}$$

## **12.9. Análisis de contingencias**

Modela el comportamiento del sistema cuando uno o varios elementos son desconectados del sistema al mismo tiempo, cada uno de los elementos se desconecta y sigue un orden, posterior a ello, se calcula el flujo de carga para presentar los resultados que indicarán los parámetros críticos provocados por los elementos sobrecargados en función de los elementos que fueron desconectados.

El rango que limita los elementos sobrecargados hace referencia a máxima cargabilidad, voltaje mínimo, voltaje máximo, es utilizado para delimitar áreas y zonas con esto se obtiene una selección de los elementos de salida con una selección establecida.

### 13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 3. Cronograma

Capitulo	Actividad	Cronograma de actividades para elaboración de Investigación						
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
Capitulo 1	Parámetros de los circuitos de distribución							
	Especificaciones eléctricas y mecánicas							
	Circuitos principales y derivaciones							
	Capacidad de transformación instalada							
	Demanda máxima y energía							
Capitulo 2	Investigación del historial de medición de los circuitos							
	Antecedentes de la capacidad de la subestación suministradora							
	Análisis estadístico de la demanda y energía							
	Modelado de comportamiento mensual y anual							
	Proyección de comportamiento mensual y anual							
Capitulo 3	Comparación de tecnología (GS) y (AS)							
	Implementación de Subestaciones (GS) en Guatemala							
	Especificaciones y parámetros eléctricos Subestación (GS)							
	Ubicación y localización de Subestación (GS)							
	Transición aérea subterránea de líneas							
Capitulo 4	Estructura de líneas de transmisión en 69 KV existentes							
	Seccionamiento de línea de transmisión en 69 KV asociada							
	Selección y justificación del trazo de línea de transmisión							
	Estructuras y cimentaciones							
	Sistemas de Puestas a Tierra							
Capitulo 5	Especificaciones eléctricas y mecánicas del conductor							
	Selección de Estructuras							
	Selección de herrajes y accesorios							
	Sistemas de puestas a tierra							
	Readevaluación de nuevos circuitos de distribución							

Fuente: elaboración propia.



## 14. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIOS

La metodología planteada para la elaboración de la investigación establece tres etapas que tienen distintas actividades y que en conjunto serán los recursos para desarrollar la investigación, algunos de los recursos son: estudios, trabajos de campo, análisis en software, mediciones, desarrollo de cálculo, correcciones de asesor, tiempo. La investigación comprende un tiempo estimado de 6 meses que están relacionados con costos directos e indirectos

El tiempo que será utilizado para la elaboración de los cinco capítulos se encuentra especificado en el cronograma de actividades, el factor más importante es el tiempo que se debe invertir, ya que tiene una relación directa con los recursos económicos y la disponibilidad de tiempo libre posterior a el horario de labores, en otras actividades que no involucren la presencia del profesional que está realizando la investigación se dispondrá de recurso humano calificado que contribuirá a realizar tareas asignadas.

En la etapa de trabajos de campo será necesario el apoyo de recurso humano para llevar a cabo los estudios y mediciones correspondientes. Los procedimientos administrativos influyen un costo relacionado con documentación, autorizaciones, trámites equipos y materiales empleados para llevar a cabo ensayos, pruebas, análisis, simulaciones que brindaran el fundamento de ingeniería para respaldar los resultados que serán las bases de la investigación.

La asesoría de un Maestro profesional es fundamental en todo el proceso de la elaboración de la investigación, mediante su amplia experiencia y sus criterios permitirán desarrollar clara y concisa una investigación basada en los lineamientos que los entes regulatorios y las autoridades competentes tienen estipulado. El financiamiento de la investigación será absorbido por los ingresos obtenidos por mis labores efectuadas en la empresa transportista eléctrica centroamericana (TRELEC), en un período no mayor a 6 meses. A continuación se detallan los montos de inversión:

Tabla VII. **Montos de inversión**

<b>Núm.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
<b>1</b>	Asesoría Profesional	Q 4,000,00
<b>2</b>	Análisis en Software	Q 2,000,00
<b>3</b>	Trabajos de campo	Q 3,000,00
<b>4</b>	Transporte	Q 500,00
<b>5</b>	Suministros varios	Q 500,00
<b>6</b>	Costos Administrativos	Q 1,500,00
<b>7</b>	Recurso Humano	Q 1,000,00
<b>Total de la investigación</b>		Q 12,500,00

Fuente: elaboración propia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ríos, H. (2010). *Remodelación de una subestación, de 20 MVA a 30 MVA, 34.5/13.8 kV, Municipio Simón Bolívar, Parroquia San Cristóbal, Edo. Anzoátegui*: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui.
2. Agustín, R. (2005). *Estudio de los índices de confiabilidad para redes eléctricas de distribución radial 13.8 kV*: Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Rivera, J. (2013). *Eficiencia eléctrica en alimentadores primarios de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., Ecuador*: Universidad de Cuenca.
4. Rodríguez, F., & Solano, C. (s. f.). *Diseño del sistema de distribución primario de la subestación "Salinas" de la empresa eléctrica Península de Santa Elena S.A. basado en la calidad de servicio*: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
5. Briones, R. (2003). *Reconfiguración de circuitos primarios de distribución (13.8 kV) del área de servicio urbana de la Ciudad Riobama*: Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería.
6. Mejilla, V. (1989). *Subestaciones de alta y extra alta tensión*: HMV Ingenieros. Primera edición.



7. Sadiku, M. (2002). *Elementos de Electromagnetismo*: Oxford University Press. Tercera edición.
8. TRELEC. (2007), *Manual de diseño y construcción de líneas aéreas de Transmisión*: Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (2007). *Reglamento de la Ley General de Electricidad*: Acuerdo Gubernativo 68-2007, Guatemala.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (1996). *Ley General de Electricidad*: Decreto 93-96, Guatemala.
11. Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-. (2010). *Compendio de normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica*: Guatemala.
12. Stevenson, W. (1996). *Análisis de Sistemas de Potencia*: McGRAW-HILL.
13. Mazariegos, F. (2005). *Elementos básicos de protección de sistemas de potencia*: Empresa Eléctrica de Guatemala.
14. Hayt, W. (2006). *Teoría Electromagnética*: McGRAW HILL Séptima edición.
15. NEPLAN. (s. f.). Guía del Usuario.
16. Hernández, G. & García E. (2012). *Cobertura Eléctrica en América Latina y El Caribe*: Organización Latinoamericana de Energía.

17. Rodríguez, R. (2006). *Guía de Estudio Completaría: Universidad de Oriente Núcleo Bolívar*.
18. Ryan, R. (2008). *Diseño de un modelo de proyección de demanda Energética Global Nacional de Largo Plazo: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial*.
19. OLADE. (2012). *Cobertura Eléctrica en América Latina y el Caribe*. Organización Latinoamericana de energía.
20. MEM. (2015). *Índice de cobertura Eléctrica*. Ministerio de Energía y Minas.
21. MEM. (2010). *Informe Balance Energético*. Ministerio de Energía y Minas
22. CNEE. (2002). *Informe de Labores*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
23. SIB. (2011), *Análisis de sectores Económicos*. Superintendencia de Bancos Guatemala.
24. CNEE. (s.f.). *Perspectivas de mediano plazo para el Suministro de Electricidad del Sistema Eléctrico Nacional*. Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

