



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES COMO
ALTERNATIVA PARA PROYECTOS ENERGÉTICOS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A COMUNIDADES DE ZONAS RURALES AISLADAS DE GUATEMALA**

Erick Estuardo Zacarias López

Asesorado por el MSc. Ing. Marco Antonio Juárez López

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES COMO
ALTERNATIVA PARA PROYECTOS ENERGÉTICOS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A COMUNIDADES DE ZONAS RURALES AISLADAS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ESTUARDO ZACARIAS LÓPEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. MARCO ANTONIO JUÁREZ LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 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 Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
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 DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES COMO
ALTERNATIVA PARA PROYECTOS ENERGÉTICOS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA A COMUNIDADES DE ZONAS RURALES AISLADAS DE GUATEMALA**

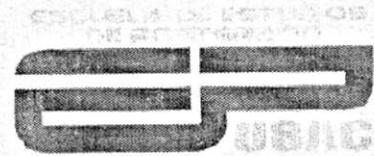
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 14 de mayo de 2016.

Erick Estuardo Zacarias López



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



ADSE-MEAPP-019-2015

Guatemala, 14 de mayo de 2016.

Director
Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería 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 **Erick Estuardo Zacarias López** carné número **2008-15564**, 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,

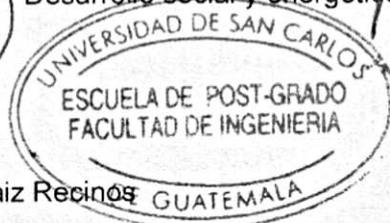
Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Marco Antonio Juárez López
Asesor (a)

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

Marco Antonio Juárez López
Ingeniero Electricista
Colegiado 3114



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

Cc: archivo
/la



REF. EIME 50.2016.
Guatemala, 22 de AGOSTO 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 DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES COMO ALTERNATIVA PARA PROYECTOS ENERGÉTICOS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A COMUNIDADES DE ZONAS RURALES AISLADAS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Estuardo Zacarias López**, 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 ENSEÑADA A TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Director

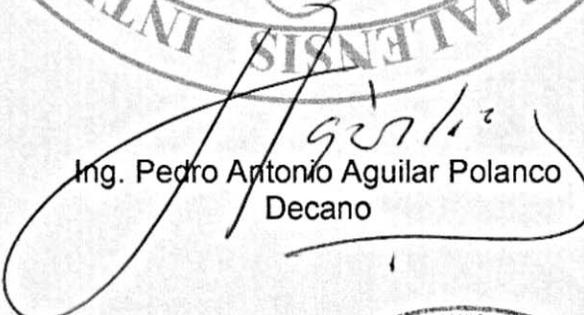
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





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 DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES COMO ALTERNATIVA PARA PROYECTOS ENERGÉTICOS DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A COMUNIDADES DE ZONAS RURALES AISLADAS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Estuardo Zacarías López**, 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, septiembre de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su incondicional amor me permite la vida cada día y me da fortaleza para cumplir su propósito para mi vida.
- Mis padres** Anabela de Jesús López López y Edwin Estuardo Zacarías Morales, por su esfuerzo, amor e incondicional apoyo, su ejemplo e instrucción me ha forjado para ser una persona de bien.
- Mis hermanas** Keilyn Zussell y Jerelyn Anelí, por el amor y apoyo brindado cada día de mi vida.
- Mi mami ey** Maria Nieves López, por su amor y cariño, su ejemplo de bondad y fortaleza me ha ensañado a perseverar en el camino correcto
- Mis abuelos** Por su cariño.
- Mi familia** Tíos, primos y sobrinos; por su apoyo, ejemplo y tantas buenas experiencias que marcan nuestras vidas
- A mis amigos** Por todos los momentos, experiencias y triunfos compartidos en cada etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me permitió formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser el camino para alcanzar el éxito.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por brindarme todos los conocimientos técnicos y científicos.
A mis padrinos	Por ser una constante fuente de inspiración en mi vida.
A mi asesor	MBA. Ing. Marco Antonio Juárez López, por todo el apoyo brindado en la realización de este documento.
A las empresas	SERVITEGUA, EPR y TRELEC, que me han abierto sus puertas para ejercer el conocimiento adquirido y seguir aprendiendo aún más.
La Iglesia de Dios Evangelio Completo	Por su apoyo y oraciones.
Maestros	Todas esas personas que me han brindado de su conocimiento y experiencias en diferentes ámbitos de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIONES	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Zonas rurales aisladas de Guatemala	19
7.2. Marco legal	22
7.3. Subestación eléctrica	25
7.4. Niveles de tensión en Guatemala	26
7.5. Transformador de potencia.....	27
7.6. Transformadores de potencial o tensión.....	28
7.6.1. Transformadores de tensión para servicios auxiliares.....	30
7.7. Red de distribución de energía eléctrica.....	31

8.	VARIABLES	33
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL.....	35
10.	METODOLOGÍA	37
11.	TÉCNICA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41
12.	CRONOGRAMA	43
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA

1.	Marco legal de Guatemala	23
----	--------------------------------	----

TABLAS

I.	Índice de cobertura eléctrica departamental en Guatemala 2013.....	20
II.	Niveles de tensión en Guatemala	26
III.	Presupuesto mensual:.....	46

1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, con base en los censos de 1981, 1994 y del 2002, realizados por el Instituto Nacional de Estadística, y al número de usuarios reportados por las empresas distribuidoras de energía eléctrica en la república Guatemala, se estableció la cobertura eléctrica a nivel nacional, para el año 2004, con un índice de electrificación que alcanzó el 82.8%; para el año 2013 se estableció un índice de electrificación eléctrica de 89.586%¹, esto indica que existe una población a la cual aún no ha llegado el servicio de energía eléctrica, a pesar de los esfuerzos del Instituto de Nacional de Electricidad –INDE- y su plan de expansión rural –PER-; este índice a través del tiempo no ha tenido una variación significativa, una de las causas más importantes de él porque aún no se ha alcanzado a un porcentaje de la población, es el costo que representa, la construcción y mantenimiento de una subestación que alimente una población, y la instalación de la infraestructura que distribuya dicha energía hacia los usuarios.

Como elemento más importante técnica y económicamente en una subestación, el transformador de potencia, representa el costo más grande, y el elemento principal para poder distribuir energía eléctrica a cualquier comunidad, de tal forma que por ejemplo el criterio más común para el diseño de una subestación de transformación es la protección del transformador de potencia.

El presente trabajo de tesis, analiza técnica y económicamente el uso de transformadores de potencial para servicios auxiliares en subestaciones, como una alternativa económica y técnicamente viable, para el abastecimiento de

¹ INDE, Plan de Electrificación Rural, <http://www.inde.gob.gt/>, Guatemala 2015.

energía eléctrica; este tipo de transformadores dada su menor robustez, capacidad y a que reducen los valores de alta tensión a valores, no de media tensión como los transformadores de potencia normales, si no, a valores de baja tensión, puede llegar a representar una disminución muy significativa en los costos de instalación y operación de proyectos de energización, ideales para los proyectos energéticos de electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala.

En el primer capítulo se desarrolla una descripción general de las zonas rurales en Guatemala, el contexto de los proyectos de energización en Guatemala a través de la historia y el panorama actual del índice de electrificación en Guatemala.

El segundo capítulo presenta el concepto de los transformadores de tensión para servicios auxiliares y se describen las características especiales de este tipo de transformadores.

En el tercer capítulo se desarrolla el análisis técnico del uso de los transformadores de tensión para servicios auxiliares y su utilización en proyectos de electrificación en zonas rurales aisladas, las condiciones técnicas que se deben cumplir para que la instalación de este equipo sea técnicamente viable y las ventajas que se podrían obtener al implementarlos, en el análisis se realizara una comparación versus la aplicación de la tecnología solar y una comparación versus los sistemas de distribución convencionales.

En el cuarto capítulo se realiza el análisis económico de la utilización de los transformadores de tensión para servicios auxiliares para su uso en proyectos de electrificación de zonas rurales aisladas en Guatemala, en este

análisis se realizará una comparación con la utilización de tecnología solar y los sistemas convencionales para electrificación de zonas rurales aisladas.

En el quinto capítulo se realiza un breve análisis de los impactos sociales que este tipo de proyectos pueda producir en las zonas rurales aisladas de Guatemala.

El sexto capítulo se enfoca en el análisis de los resultados finales, y la viabilidad del uso de transformadores de tensión para proyectos de electrificación en zonas rurales aisladas en Guatemala.

2. ANTECEDENTES

El Gobierno de Guatemala ha trabajado una estrategia de electrificación con el INDE desde el año 1971, dicha estrategia se denominó: “Proyectos de Electrificación Rural” –PER-, esta estrategia empezó con un proyecto alrededor de (1971 - 1978) a través del PER-1, por medio del cual se le brindó el servicio de energía eléctrica a tres de las zonas rurales aisladas de Guatemala, teniendo un alcance y brindándole el servicio de energía eléctrica a aproximadamente 25 000 usuarios, en 5 departamentos del país (Alta y Baja Verapaz, Huehuetenango, Quiché y San Marcos), información que se puede consultar de la página de internet del –INDE-. En este primer proyecto, los usuarios todavía no pagaban ningún costo para la retribución de la inversión.

En los años 1979 a 1989, se continuó con la segunda fase dando lugar al Proyecto de Electrificación Rural II -PER-2-, con este proyecto se beneficiaron 536 comunidades en 20 departamentos de la república de Guatemala, alcanzando a 91301 usuarios, la comunidad realizó el pago de los estudios topográficos y socioeconómicos además del costo de las instalaciones eléctricas de sus viviendas para la introducción de la energía eléctrica, el –PER-2- tubo una amplia cobertura nacional, especialmente en los departamentos de: Huehuetenango, San Marcos, Baja y Alta Verapaz, Izabal, Suchitepéquez, Retalhuleu, El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Jalapa, Santa Rosa y Jutiapa.

Para los años 1989 hacia 1996, se continuó con la siguiente fase: “El Proyecto de Electrificación Rural III –PER-3-“, este proyecto se realizó con una inversión de 20.2 millones de dólares, de los cuales el 40% lo aportó AID, 5% El

Gobierno de la República, el 30% el INDE y el 25% fue aportado por las comunidades, se beneficiaron 375 poblaciones en 7 departamentos del área noroccidental del país, brindándole el servicio a 75,150 nuevos usuarios. Para la planificación de este proyecto el INDE desarrollo un programa de –OPER- Optimización de Proyectos de Electrificación Rural, el cual hacía una pre-clasificación de comunidades que atendían ciertos parámetros comparativos (Rentabilidad Económica y Financiera), priorizando a las comunidades con indicadores objetivos; se crearon programas de crédito para que estas comunidades pudieran comprar equipo y maquinaria para establecer empresas familiares y así fomentar el desarrollo.

Se vendió el 80 % de las acciones del INDE de las empresas de distribución (DEOCSA y DEORSA), se estableció el fideicomiso para llevar a cabo el Plan de Electrificación Rural, este contemplaría la construcción de obras de transmisión y distribución en zonas rurales, con el fin de mejorar la cobertura eléctrica y mejorar la calidad de servicio, entre los objetivos del mismo se planteó elevar el índice de electrificación al 90%, para el período (2000 - 2005).

Hoy en día, el Ministerio de Energía y Minas ha enfocado sus programas hacia los proyectos: Plan de Expansión Nacional, el cual contempla la construcción de una infraestructura eléctrica mediante obras de transmisión de energía eléctrica, que permitan mejorar la estabilidad, calidad, seguridad y capacidad del –SIN-, permitiendo este proyecto la conexión de nuevas generadoras que se quieran conectar al sistema; sin embargo, el índice de electrificación aún no ha mejorado mucho.

En México, en el año 2012 la compañía Artech, en colaboración conjunta con el Gobierno de Chihuahua y la Comisión Federal de Electricidad –CFE-, desarrollaron un programa piloto, para suministrar energía eléctrica al poblado

de Tubares, en la Sierra Tarahumara, utilizando uno de sus transformadores con capacidad de 100 kVA, en el cual pudieron determinar que el costo del proyecto fue 38 % menor del costo de una subestación convencional².

² Artech, Transformadores de medida, electrificación rural, https://jornadainnovacionsocial2012deusto.files.wordpress.com/2012/07/13_inazioribar.pdf, México.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, según el informe del índice de cobertura eléctrica 2013 de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, se indicaba un índice de electrificación que alcanzó el 89.586%; sin embargo, para dicho cálculo se tomó como base el número total de viviendas, según la encuesta de ENCOVI 2011 que para el momento en el que se realizó el cálculo del índice (año 2013), el número total de viviendas debía ser mayor, lo que indica que el índice de electrificación calculado para ese entonces era menor al publicado; esto quiere decir que hoy en día y dado el crecimiento poblacional todavía existen bastantes comunidades que se encuentran sin servicio de energía eléctrica, esto produce un retraso en el desarrollo para muchas de esas comunidades. Con el fin de abastecer la creciente demanda de energía eléctrica y alcanzar a las zonas rurales aisladas, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE-, ha trabajado en proyectos energéticos, como por ejemplo: el plan de expansión de transmisión nacional y el plan de expansión de generación, estos proyectos además de sumarle estabilidad al sistema nacional interconectado, permiten el transporte de energía eléctrica hacia futuras empresas generadoras de energía eléctrica, que requieran conectarse al Sistema Interconectado Nacional –SIN-, permitiendo así un mejor flujo eléctrico y capacidad al –SIN-.

Sin embargo, muchas comunidades a pesar de que se encuentran cerca de los proyectos de líneas de transmisión de energía eléctrica o generadoras de energía eléctrica, aún no se ven beneficiadas con el servicio de electrificación; entre muchas de las causas, se puede mencionar el alto costo de instalación de una subestación de transformación, que comparada con el número de usuarios

que existen el área de alcance de dicho proyecto, hacen que la instalación de estos proyectos no sean viables desde un punto de vista económico, pues al existir un costo elevado y un disminuido número de usuarios el tiempo de recuperación de la inversión se hace demasiado grande, cabe mencionar que la inversión más alta para este tipo de proyectos es el transformador de potencia.

Esto es un impedimento para el desarrollo de estas comunidades, ya que se está limitando el desarrollo de estas comunidades, por el bajo número de habitantes y el poco poder adquisitivo que estas tienen, cuando se podría fomentar el desarrollo de estas comunidades introduciendo alternativas de proyectos de electrificación de menor costo; si se empieza con una instalación adecuada económicamente a dichas comunidades estas podrían empezar a tener un desarrollo hasta alcanzar un crecimiento que le permita justificar una instalación más grande y así sucesivamente hasta alcanzar su desarrollo socioeconómico. Por lo que se ve necesario urgentemente, promover alternativas que puedan ofrecer el abastecimiento de energía eléctrica a estas comunidades y así fomentar el desarrollo económico social de estas.

En ese sentido, la falta del servicio de energía eléctrica en las zonas rurales aisladas de Guatemala, está limitada por el alto costo de la instalación y operación de proyectos de electrificación rural, el reducido número de usuarios por zona y el poco poder adquisitivo que estos tienen. Es necesario entonces, proponer alternativas que reduzcan los costos de instalación y operación de proyectos, para poder llevar el servicio de energía eléctrica a costos menores y fomentar de esa forma el desarrollo sostenible de dichas comunidades; hoy en día existen tecnologías que permiten soluciones económicas para instalaciones de electrificación, una de ellas son los transformadores de tensión para servicios auxiliares, alternativa que se puso a prueba en un plan piloto en el año

2012 en el poblado de Tubares, en la Sierra Tarahumara de México produciendo resultados inspiradores.

Por tal razón, se plantea la siguiente interrogante central: ¿es viable técnica y económicamente utilizar transformadores de tensión para servicios auxiliares como una alternativa que reduzca los costos para proyectos de electrificación en zonas rurales aisladas en Guatemala?

No obstante, esta solución probablemente no es una solución general y podría estar limitada hacia algún tipo de comunidad con características específicas en las cuales probablemente se pueda encontrar una solución más adecuada.

Se plantean entonces las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál será el estado actual de las zonas rurales aisladas de Guatemala y cuál podría ser su demanda de energía eléctrica?
- ¿Qué factores técnicos son importantes a tomar en cuenta para el diseño, instalación y operación de una subestación eléctrica que utilice transformador de tensión para servicios auxiliares, en proyectos de electrificación rural de zonas aisladas de Guatemala?
- ¿Será económicamente viable la implementación de transformadores de tensión para servicios auxiliares, para proyectos de electrificación de las zonas rurales de Guatemala?
- ¿Permitirían las normas técnicas de Guatemala, el uso de transformadores de tensión para servicios auxiliares para electrificación rural?
- ¿Cuál será el impacto social que estos proyectos podrían provocar en las comunidades?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo nace de la necesidad de proponer soluciones al sistema de electrificación de zonas rurales aisladas de Guatemala y promover alternativas mediante tecnologías que reduzcan los costos de construcción y operación de la infraestructura para la electrificación de zonas rurales en Guatemala; se fundamenta en las líneas de investigación relacionadas a la economía política y planificación energética de Guatemala.

La energía es un eje transversal a cualquier actividad que produzca desarrollo; por lo tanto, es necesario contar con un servicio básico como la electricidad para el desarrollo de cualquier comunidad, hoy en día una gran cantidad de personas en Guatemala aún no cuenta con este servicio de energía eléctrica, limitando de esta manera el desarrollo de varias comunidades.

Dentro de las múltiples causas, la razón principal se encuentra en los altos costos de instalación y operación de una subestación de transformación de energía eléctrica, de los cuales se debe enfatizar el alto costo del transformador de potencia y la poca densidad de usuarios en las áreas rurales, en ese sentido, el presente trabajo se analiza el uso de los transformadores de potencial para servicios auxiliares, como una alternativa que podría reducir los costos de instalación y operación de una subestación de transformación, permitiendo una solución viable para los proyectos de electrificación rural en las zonas rurales aisladas de Guatemala.

Se espera que en determinadas condiciones técnicas, la alternativa del uso de los transformadores de potencial para servicios auxiliares sea una

alternativa viable y promueva el desarrollo sostenible, por medio de la electrificación rural a menores costos de instalación y operación.

5. OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de distribución utilizando transformadores de tensión para servicios auxiliares como alternativa para proyectos energéticos de abastecimiento a comunidades de zonas rurales aisladas de Guatemala.

Específicos

1. Exponer las características actuales de las zonas rurales aisladas de Guatemala y su demanda de energía eléctrica.
2. Elaborar una evaluación técnica del uso de transformadores de tensión para servicios auxiliares, para el abastecimiento a comunidades de zonas rurales aisladas de Guatemala.
3. Realizar una evaluación económica del uso de transformadores de tensión para servicios auxiliares, para el abastecimiento a comunidades de zonas rurales aisladas de Guatemala.
4. Realizar un análisis de los aspectos normativos de Guatemala para la construcción y operación de proyectos de electrificación rural.
5. Realizar un análisis básico de los aspectos sociales que influirían en la implementación de proyectos energéticos de abastecimiento de energía eléctrica, usando transformadores de potencial para servicios auxiliares.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIONES

La necesidad a cubrir es la solución mediante nuevas propuestas energéticas para la electrificación de las zonas rurales aisladas en Guatemala, este trabajo, analiza el uso de los transformadores de potencial para servicios auxiliares para su aplicación en proyectos energéticos de abastecimiento de energía eléctrica a comunidades de las zonas rurales aisladas de Guatemala, como una propuesta que disminuya los costos de instalación y operación.

Los beneficiarios son las comunidades que cumplen con las características técnicas y económicas, de las zonas rurales aisladas para su electrificación mediante esta solución, con el objetivo de brindarles el servicio de energía eléctrica para obtener un desarrollo sostenible.

El esquema de soluciones consta de la elaboración de un análisis técnico, describiendo primero las características físicas necesarias para que un proyecto de este tipo se pueda realizar, determinar la capacidad que se puede entregar con este tipo de proyecto y realizar una propuesta técnica que incluya el sistema de distribución y acometida al usuario final; la elaboración de un análisis económico, para determinar la viabilidad de un proyecto de este tipo; se realizará también un análisis comparativo con otra tecnología renovable, tecnología solar, para determinar mediante este parámetro, si es viable la solución de transformadores de tensión para servicios auxiliares comparado con la solución parcial ya existente de energización de zonas rurales aisladas con energía solar; finalmente se realizará un análisis básico de los efectos sociales que este tipo de proyectos podrían producir.

Es importante recalcar que la solución propuesta podrá aplicarse solamente a las comunidades que cumplan con los requerimientos técnicos de ubicación, no obstante el desarrollo que podría producir abrirá el camino hacia futuras ampliaciones del sistema eléctrico de Guatemala para abastecer a las comunidades de las zonas rurales aisladas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Zonas rurales aisladas de Guatemala

Las zonas rurales aisladas de Guatemala son aquellas áreas en donde aún no ha llegado el servicio de energía eléctrica, en estas zonas no existe la cobertura eléctrica por ninguna empresa de electrificación, las causas podrían ser varias pero principalmente se hacen relevantes las dos enumeradas a continuación:

La baja densidad de usuarios: al ser estas áreas típicamente caracterizadas por su baja población y poco desarrollo, no poseen una demanda alta de energía eléctrica, en muchos casos el número de cargas por kilómetro de línea es demasiado bajo, esto provoca un poco interés en las empresas de electrificación, debido al alto costo y poca rentabilidad de estas.

Costos de instalación y operación altos: al tener una baja densidad de usuarios, poca demanda y pocas cargas por kilómetro de línea, los períodos de retorno de la inversión son demasiado largos, condiciones en las cuales es casi imposible el interés de inversionistas.

El último índice de cobertura eléctrica departamental calculado por el Ministerio de Energía y Minas en el año 2013, indica que en departamentos como por ejemplo: Informe Cobertura Eléctrica MEM (2013): “En Alta Verapaz, existe un índice de electrificación de 43.491%”, (Página 2). Lo cual es un índice bastante bajo, dato que se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla I. **Índice de cobertura eléctrica departamental en Guatemala 2013**

Departamento	Viviendas	Usuarios	Índice
ALTA VERAPAZ	204,536	88,954	43.491%
BAJA VERAPAZ	60,732	47,043	77.460%
CHIMALTENANGO	120,785	118,158	97.825%
CHIQUIMULA	79,054	67,114	84.896%
EL PROGRESO	37,812	37,343	98.750%
ESCUINTLA	164,713	158,198	96.045%
GUATEMALA	744,598	741,159	99.531%
HUEHUETENANGO	219,767	200,051	91.029%
IZABAL	98,498	80,482	81.709%
JALAPA	68,391	60,161	87.966%
JUTIAPA	104,825	97,439	92.954%
PETEN	135,943	86,220	63.424%
QUETZALTENANGO	166,729	163,906	98.307%
QUICHE	180,565	150,724	83.474%
RETALHULEU	64,242	60,196	93.702%
SACATEPEQUEZ	66,723	66,267	99.316%
SAN MARCOS	198,005	188,714	95.308%
SANTA ROSA	80,332	76,980	95.828%
SOLOLA	81,262	79,152	97.404%
SUCHITEPEQUEZ	113,998	102,235	89.682%
TOTONICAPAN	94,415	91,815	97.246%
ZACAPA	50,454	47,437	94.020%

Fuente: extraído del informe de cobertura eléctrica del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2013).

Mientras se resuelve el problema de los altos costos y períodos demasiado largos para la recuperación de inversiones, estas comunidades de las zonas rurales aisladas atrasan su desarrollo socio económico, ya que la energía

eléctrica es un servicio fundamental para cualquier actividad que produzca desarrollo.

El Sistema Eléctrico Nacional Interconectado de Guatemala –SIN- actualmente se encuentra en crecimiento, los planes de expansión de transmisión –PET- y el plan de expansión de generación –PEG-, tienen provisto cubrir toda la demanda y servir como una plataforma para una gestión de energía más robusta, confiable. Esto garantiza que la energía en términos de capacidad si puede estar disponible en el sistema; sin embargo, para algunas comunidades de las zonas rurales aisladas la electrificación de sus hogares esto todavía es un sueño.

Un sistema eléctrico de potencia capaz de abastecer de energía eléctrica a un grupo de usuarios finales, consta básicamente de 5 elementos importantes y vitales: los centros de generación de energía eléctrica, las líneas de transmisión de energía eléctrica, subestaciones de transformación, red de distribución y la acometida de alimentación a los usuarios finales.

Las centrales de generación son las que alimentan todo el sistema eléctrico, estas pueden ser de diferentes tipos: hidroeléctricas, eólicas, de bunker, carboneras, entre otros, y se encuentra a grandes distancias alejadas de los centros de consumo o distribución. Las centrales generadoras producen la energía y la transmiten por medio de las líneas de transmisión; generalmente generan la energía a voltajes de valores de media tensión, estos voltajes se encuentran dentro de un rango de entre 13,5 kV y 34,5 kV; para transportar esta energía se hace uso de las líneas de transmisión pero antes se eleva la energía a valores más altos, valores de alta tensión de 34,5 kV hacia 230 kV o más, esto con el propósito de disminuir las pérdidas dado la gran distancia de las centrales generadoras hacia los centros de distribución.

Líneas de transmisión, son las encargadas de llevar la energía eléctrica desde el centro de generación hacia otro punto de consumo o distribución, donde se pueda bajar los voltajes a niveles de voltaje más bajos, estos puntos de consumo o distribución son nodos donde se gestiona la energía, a estos nodos se les llama subestaciones.

Las subestaciones y las líneas de distribución, serán nuestros temas de enfoque, donde se aplicará la solución propuesta, en una subestación se transforman los niveles de voltaje para reducirlos nuevamente hacia valores de media tensión 13.8kV a 34.5kV. Sin embargo, para la propuesta la subestación reducirá los valores de voltaje de transmisión o de alto voltaje a valores de bajos voltajes, de aquí que el sistema de distribución se desarrollará en una infraestructura de bajo voltaje 127/220 V, lo que producirá de igual manera un bajo costo para el sistema de distribución, debido a que las distancias de aislamiento son casi nulas y la red debería ser menos robusta.

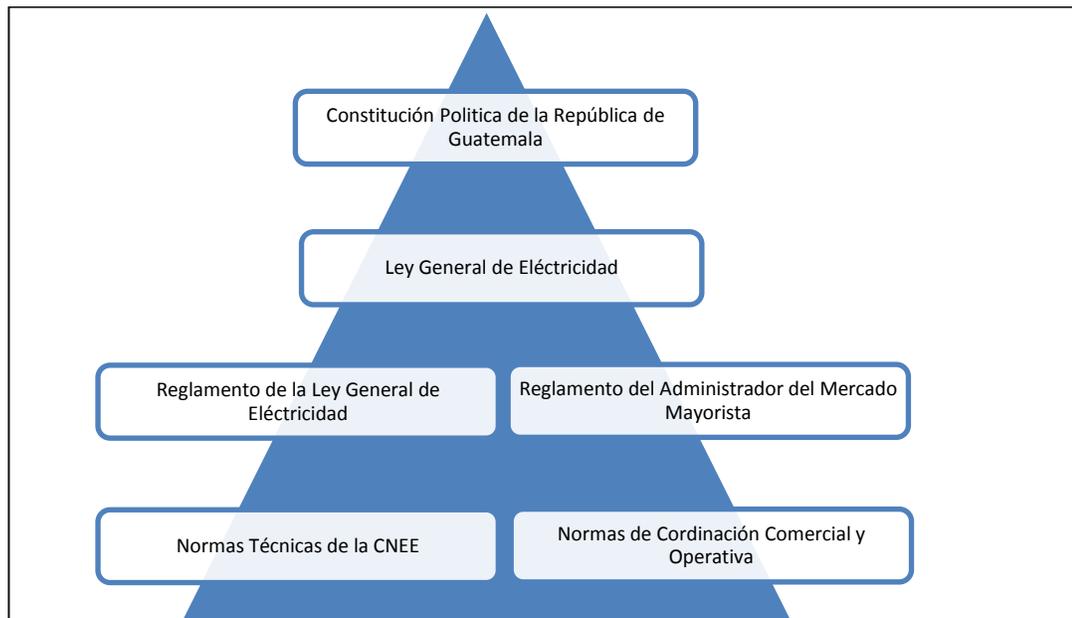
Finalmente, las acometidas domiciliarias podrían ser iguales a las comúnmente utilizadas en las residencias comunes, dependiendo solo de la capacidad a instalar que para esta solución tendría que ser relativamente baja, destinadas a un consumo que les permita utilizar servicios básicos de iluminación, refrigeración y comunicación.

7.2. Marco legal

En noviembre del 1996, la reforma en energética de Guatemala producto de la Ley General de Electricidad, dio lugar a la creación de dos nuevas entidades: La Comisión Nacional de Energía Eléctrica –CNEE- y El Administrador de Mercado Mayorista –AMM-, estas dos entidades tienen diferentes funciones aunque las dos son importantes fungen de diferente forma

y paralelamente, la CNEE tiene funciones regulatorias y el AMM tiene funciones operativas y comerciales, esto permite que el poder no se concentre en un solo ente y por lo tanto exista una mejor funcionalidad y más transparencia.

Figura 1. **Marco legal de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Refiriéndonos a proyectos de electrificación, la norma superior jerárquica de Guatemala es específica al mencionar la electrificación nacional como un interés de urgencia en: *La Constitución Política de la República de Guatemala* (Artículo 129) “Electrificación. Se declara de urgencia nacional, la electrificación del país, con base en planes formulados por el Estado y las municipalidades, en la cual podrá participar la iniciativa privada”.

En la Ley General de Electricidad existen dos artículos específicos los cuales se utilizará como herramienta para realizar la evaluación; el primero

hace mención a que el Estado puede otorgar recursos considerándolos como subsidio de forma total o parcialmente, no obstante otorga la obligación de la administración y mantenimiento al adjudicatario del proyecto. *Ley General de Electricidad* (Artículo 47) “El Estado podrá otorgar recursos para costear total o parcialmente la inversión de proyectos de electrificación rural, de beneficio social o de utilidad pública, que se desarrollen fuera de una zona territorial delimitada.”

El segundo Artículo describe que el Ministerio establecerá un procedimiento para la elaboración de un informe que será objeto de evaluación económica y social para poder autorizar el proyecto de electrificación. *Ley General de Electricidad* (Artículo 77) “Para la aplicación del Artículo 47 de la Ley, el Ministerio establecerá un procedimiento para la elaboración del informe de evaluación económica y social del proyecto, con el fin de resolver la procedencia o improcedencia de la solicitud”.

El instrumento que utiliza la CNEE para analizar cualquier proyecto de energía eléctrica son: “El Compendio de Normas Técnicas Emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica” en ellas se describe los procedimientos y criterios que la CNEE dicta para la realización de cualquier proyecto del área eléctrica.

Paralelamente a las normas de la CNEE, el AMM dicta las normas y reglamentos con los cuales operar las instalaciones para cualquier proyecto del área eléctrica en Guatemala, y lo hace a través de dos herramientas: “Las Normas de Coordinación Comercial y las Normas de Coordinación Operativa”, es importante mencionar que el AMM es quien avala técnicamente la autorización para conectarse al sistema eléctrico de Guatemala.

7.3. Subestación eléctrica

Una subestación es un conjunto de dispositivos, mecánicos, eléctricos, mecánico-eléctricos, electrónicos, infraestructura civil y equipos de comunicación, que constituyen una central de gestión de energía, de un sistema eléctrico de potencia.

De acuerdo a Ramirez (1991): “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” (Página 1).

Por su funcionamiento se puede clasificar a las subestaciones en cuatro diferentes tipos:

- Subestaciones de transformación o de cambio de nivel de tensión.
- Subestaciones de maniobras o seccionamiento.
- Subestaciones de consumo o para distribución.
- Subestaciones mixtas.

En este trabajo, se enfocará en las subestaciones de consumo, o bien para distribución de energía eléctrica, ya que estas son necesarias para la distribución de la energía eléctrica hacia el consumidor final. Estas subestaciones transforman el nivel de tensión de transmisión de energía eléctrica, hacia un nivel de tensión, generalmente de distribución.

Para esto, la subestación deberá contar con un conjunto de equipos, entre ellos equipos de medición y control, equipos de comunicación, equipos de seccionamiento e interrupción del flujo eléctrico y principalmente el elemento

más importante de la subestación de transformación, en cuyo elemento se hará énfasis en el presente documento: “El Transformador de Potencia”.

7.4. Niveles de tensión en Guatemala

En Guatemala, bajo las normas de regulación que emite la comisión nacional de energía eléctrica –CNEE-, hay establecidos en el Sistema Eléctrico Nacional diferentes niveles de tensión, los cuales se dividen por: niveles de tensión para transmisión de energía eléctrica (Alta Tensión), niveles de tensión para distribución de energía eléctrica (Media Tensión) y niveles de tensión para consumo de energía eléctrica (Baja Tensión, los cuales detallaremos en la siguiente tabla.

Tabla II. Niveles de tensión en Guatemala

Clasificación	Rango	Voltaje	Fase
Alta Tensión	> 34.5 kV	400 kV	Trifásico
		230 kV	Trifásico
		138 V	Trifásico
		69 kV	Trifásico
Media Tensión	≥ 13.8	13.8 kV	Trifásico
	≤ 34.5	34.5 kV	Trifásico
Baja Tensión	< 13.8 kV	120/240 V	Trifásico
		120/208 V	Trifásico
		240/480 V	Trifásico
		120/240 V	Monofásico
		120/208 V	Monofásico

Fuente: elaboración propia.

7.5. Transformador de potencia

El Transformador de potencia es el elemento más importante dentro de una subestación de transformación y económicamente es el elemento más significativo de una subestación de transformación para distribución de energía eléctrica. Es el dispositivo que se encarga de cambiar los niveles de tensión, a un nivel seguro para la distribución de energía eléctrica y su consumo final, es una máquina eléctrica, que tiene la capacidad de elevar o disminuir los niveles de tensión, manteniendo la misma potencia de los lados de alta y baja, esto por medio de la concatenación de flujos magnéticos entre los devanados de alta y baja tensión del transformador.

La razón por la cual el transformador es tan importante en los sistemas de potencia, es que la energía eléctrica se genera en valores de tensiones alrededor de 13.8 kV y 34.5 kV, y la transmisión de energía eléctrica no se puede dar en estos niveles bajos de tensión porque aumentan las pérdidas por efecto joul, así que la transmisión de energía eléctrica se realiza a valores mayores de 34.5 kV. Para lograr el cambio de tensión de generación a transmisión se utiliza el transformador de potencia. En Guatemala comúnmente se utilizan 69 kV, 138 kV, 230 kV y 400 kV, como voltajes de transmisión y la distribución de energía se realiza en valores de 13.8 kV y 34.5 kV, es por esa razón que los transformadores de potencia son sumamente importantes en los sistemas eléctricos de potencia.

Los transformadores de potencia para uso de consumo de energía eléctrica o para subestaciones de distribución de energía eléctrica, naturalmente son reductores de tensión, y reducen sus niveles de tensión hasta valores de media tensión, dado que son valores en los cuales es seguro

distribuir la energía eléctrica. Su potencia puede ir desde 5 MVA hasta más de 50 MVA.

En una subestación, además de utilizar los transformadores de potencia, también se hace uso de transformadores de potencial y de corriente, estos transformadores se utilizaban generalmente para dos funciones específicas: protección y medición, la razón es porque estos transformadores son menos robustos que los transformadores de potencia, y la relación de transformación es bastante alta, tienen la capacidad de reducir un nivel de transmisión hasta niveles de baja tensión. Pero no tienen la capacidad de alimentar un servicio de consumo, tienen una capacidad reducida para soportar las cargas que se producen por los equipos de medición y protección que se encuentran dentro de las subestaciones.

Actualmente existe una modificación de los transformadores de potencial, que permite darle un nuevo uso a los transformadores de potencial, esta variante permite brindar energía para la alimentación de los servicios auxiliares, estos se llaman “transformadores de potencial para servicios auxiliares”, estos transformadores siguen manteniendo las características principales de un transformador de potencial común, con la diferencia de que estos tienen la capacidad para alimentar servicios de consumo en baja tensión.

7.6. Transformadores de potencial o tensión

Normalmente en sistemas con tensiones superiores a 600v las mediciones de tensión no son hechas directamente en la red primaria, sino a través de equipos denominados transformadores de tensión, estos equipos tienen las siguientes finalidades:

- Aislar el circuito de baja tensión del circuito de alta tensión.
- Procurar que los efectos transitorios y de régimen permanente en alta tensión sean reproducidos fielmente en los circuitos de baja tensión o de medición.

Un Transformador de potencial, o como comúnmente se les puede llamar “PT”, es al igual que un transformador de potencia, es una máquina eléctrica estática, que tiene la capacidad de elevar o disminuir la tensión, sin alterar la potencia suministrada, por medio de la concatenación de flujos magnéticos entre sus devanados de alta y baja tensión.

Estos transformadores tienen características especiales, una de ellas es que son puramente, transformadores de reducción de tensión, esto debido a que lo que se necesita es reducir la tensión, a valores en los cuales no sea peligroso efectuar mediciones, por lo que reducen sus valores hasta niveles de baja tensión, generalmente de 600 V para abajo. Su capacidad es limitada dado que la carga que deben soportar, es sencillamente el burden o consumo del equipo de medición y protección al cual se deben conectar y quizá algún servicio de iluminación.

Su construcción es menos robusta que la de un transformador de potencia, y es por eso que su costo igualmente se reduce. Hasta hace poco se empezaron a construir estos transformadores con una capacidad mayor, esto con la idea de poder alimentar los servicios auxiliares de una subestación, mediante un único equipo y así no poner transformadores de potencia de triple devanado que son más caros que los normales, o en subestaciones puramente de maniobras donde no se utilizan transformadores de potencia y era necesario buscar una fuente externa de alimentación o bien comprar un transformador de potencia, con la capacidad mínima para alimentar dichos servicios.

7.6.1. Transformadores de tensión para servicios auxiliares

Los Transformadores de tensión para servicios auxiliares, son una variación de los transformadores de tensión comunes, estos además de servir para medición y protección nos brindan la opción de poder usarlos como transformadores abastecedores de energía para el consumo interno de una subestación, actualmente los transformadores de potencial para servicios auxiliares brindan capacidades de hasta 100 kVA o más, esta capacidad significaría la alimentación de dos manzanas completas de la ciudad capital con carga domiciliar común, en una configuración horizontal, como comúnmente están diseñadas las comunidades Guatemaltecas.

Estos transformadores, al igual que los transformadores de potencial comunes, son máquinas eléctricas estáticas, que tienen la capacidad de reducir los niveles de tensión, sin variar la potencia suministrada por el mismo, por medio de concatenación de flujos magnéticos entre sus devanados de alta y baja tensión, pero con la opción de tener un devanado secundario extra, el cual permite darle uso para la alimentación de servicios auxiliares para una subestación.

Esta característica marca una pauta a poder utilizarlos también para abastecer de energía eléctrica a diferentes tipos de usuarios, como por ejemplo: Industrias, Sistemas de iluminación pública, antenas de comunicación y finalmente el área en la que enfocamos esta investigación, electrificación rural.

En México, en el año 2012 la compañía Arteché desarrolló un programa piloto en la población Tubares, instalando una capacidad de 100kVA y entregándole energía eléctrica a esa población, obteniendo una reducción del 38% en sus costos.

No obstante, para el análisis de la solución propuesta, es necesario también considerar la forma en la que se desarrollará la red de distribución de energía eléctrica.

7.7. Red de distribución de energía eléctrica

La red de distribución de energía eléctrica es el conjunto de materiales y equipos con los que se distribuye la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación hacia los consumidores finales, de una forma segura, confiable y continua. En Guatemala, el sistema de distribución, se realiza mediante tendidos de conductores con postes ya sea de concreto o madera, cuyo nivel de tensión se encuentra entre los niveles de media tensión, generalmente 13.8kV, en algunos casos especiales se realiza un tendido de conductor subterráneo para evitar la contaminación visual, la distribución en media tensión permite reducir las pérdidas de energía por efecto joul en las líneas; sin embargo, ya que ese nivel de tensión no es un nivel de tensión adecuado para el usuario, se necesita de transformadores reductores, para reducir esos valores de voltaje hacia valores de baja tensión, la implementación de un sistema en media tensión para comunidades con pocos usuarios eleva los costos aún más.

Según Castaño (2004): “dentro de la clasificación de los sistemas de distribución por voltajes nominales, existen dos tipos: redes de distribución primaria en niveles de medio voltaje, y redes de distribución secundaria las cuales se encuentran dentro de los rangos de voltajes de baja tensión” (página 8).

Ya que el transformador de tensión para servicios auxiliares entrega un voltaje en el rango de la baja tensión, nuestra red de distribución será menos

compleja y por ende más económica, no obstante esta solución nos limita técnicamente a establecer lo más cerca posible al centro de carga nuestra subestación.

El conductor a utilizar estará determinado por la capacidad a transportar del mismo, y debido a su nivel de voltaje podría ser un conductor sin forro o incluso forrado; el tendido se podrá hacer en postes de madera o subterráneo, ya que gracias al nivel de voltaje que se utilizaría para distribuir la energía eléctrica permite que nuestras distancias de seguridad sean muy pequeñas.

8. VARIABLES

Independientes:

- Tiempo [años, meses, días].
- Costos de Instalación [Quetzales].
- Costos de Mantenimiento [Quetzales].
- Tasas de Intereses [%].

Dependientes:

- Demanda [kW/h por mes].
- Tarifa de Venta [Quetzales por kW/h].
- TIR (Tasa Interna de Retorno) [%].
- VAN (Valor Actual Neto) [%].

9. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ZONAS RURALES DE GUATEMAMALA
 - 1.1. Contexto de proyectos de energización en Guatemala
 - 1.2. Índice de electrificación en Guatemala
 - 1.3. Áreas aún no alcanzadas

2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN PARA SERVICIOS AUXILIARES
 - 2.1. Caracterización
 - 2.2. Recopilación de información de fabricantes

3. ANÁLISIS TÉCNICO
 - 3.1. Condiciones Técnicas Generales
 - 3.2. Diseño Básico de Modelo de subestación
 - 3.3. Red de distribución en baja tensión
 - 3.4. Impacto ambiental
 - 3.5. Análisis Comparativo versus Tecnología Solar

3.6 Análisis Comparativo versus Sistema de Distribución Convencional

4. ANÁLISIS ECONOMICO

4.1 Determinación Tamaño de inversión

4.2 Evaluación Económica

4.3 Evaluación comparativa versus tecnología Solar

4.4 Evaluación comparativa versus sistema de distribución convencional.

4.5 Análisis de Riesgos

5. IMPACTO SOCIAL

5.1. Caracterización de posibles impactos sociales

5.2. Descripción de medidas de mitigación de impacto

5.3. Proposición de programas de desarrollo sostenible dado el proyecto

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

A continuación desarrollamos las actividades por objetivo específico que formarán parte de la metodología de la investigación.

- Exponer las características actuales de la oferta y la demanda de las zonas rurales aisladas en Guatemala
 - Identificar las actuales zonas rurales aisladas de Guatemala que todavía no formen parte de algún proyecto específico de electrificación rural activo en Guatemala.
 - Hacer un análisis de la demanda que estas comunidades podrían presentar.
 - Estimar el crecimiento de la demanda energética y el período de crecimiento.
 - Analizar las oportunidades para el aprovechamiento de la energía eléctrica suministrada por este tipo de proyecto que fomenten el desarrollo para las comunidades como por ejemplo: la inducción de servicios de comunicación para el desarrollo de las comunidades.

- Elaborar una evaluación técnica del uso de transformadores de tensión para servicios auxiliares para el abastecimiento a comunidades de zonas rurales aisladas de Guatemala.
 - Describir las características técnicas, básicas para la adaptación de un proyecto de este tipo a comunidades de las zonas rurales aisladas, tales como: niveles de tensión, zonas de carga, área

- necesaria para la instalación del proyecto, distancias hacia centro de carga y alimentación primaria, métodos de protección del sistema y protección al operario y usuario.
- Establecer la capacidad máxima que un proyecto de este tipo podría brindar y el alcance técnico que esté presente.
 - Describir la infraestructura necesaria para el aprovechamiento de la energía suministrada, tanto el sistema de distribución como el sistema eléctrico para el aprovechamiento individual de la energía eléctrica suministrada.
 - Establecer los riesgos técnicos que este tipo de proyecto podría presentar y como se pueden mitigar.
 - Hacer una propuesta de diseño de subestación implementando como elemento principal los transformadores de potencial para servicios auxiliares.
 - Método de protección, medición, control, monitoreo y mantenimiento, de las instalaciones que alimentarían los servicios.
- Realizar una evaluación económica del uso de transformadores de tensión para servicios auxiliares para el abastecimiento a comunidades de zonas rurales aisladas de Guatemala.
 - Hacer un cálculo del costo total promedio que implicaría la construcción de este tipo de proyectos de abastecimiento de energía eléctrica, incluyendo la infraestructura que este necesite implementar.
 - Hacer un cálculo del costo de la operación y mantenimiento del proyecto.
 - Calcular el tiempo de vida del proyecto.

- Hacer un cálculo del beneficio obtenido, por la remuneración del servicio de energía eléctrica.
 - Calcular los parámetros de factibilidad para el proyecto.
 - Hacer un análisis de sensibilidad, tomando en cuenta la variación de la capacidad instalada dependiente de la demanda comunidad, y los riesgos que se podrían presentar.
- Realizar un análisis básico en términos generales de los aspectos normativos y sociales que influirían en la implementación de proyectos energéticos de abastecimiento de energía eléctrica usando transformadores de potencial para servicios auxiliares.
 - Debido a que el sistema eléctrico de Guatemala, no es independiente, sino que está sujeta a la CNEE, la Ley General de Electricidad y sus normativos, es necesario hacer un análisis generalizado para la aprobación de este tipo de proyecto, y enumerar los requisitos que estos podrían pedir para su aprobación.
 - Describir los aspectos básicos sociales que produciría la implementación de este tipo de proyectos en las comunidades.
- Realizar un análisis comparativo del uso de transformadores de potencial para servicios auxiliares versus el uso de sistemas solares, para abastecimiento de energía eléctrica domiciliar a comunidades rurales aisladas en Guatemala, así determinar la factibilidad del uso de la tecnología propuesta en el presente documento.

11. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Tabulación de Datos

La información se recolectará y se dividirá en diferentes tipos de clasificación, dependiendo del tipo de datos ya sea cuantitativa o cualitativa, estas se tabularán ordenadamente, se utilizará la herramienta de OFFICE llamada EXCEL, para ordenar la información y proceder después a analizarla.

Análisis Estadístico de Datos

Para el análisis de los datos se utilizarán diferentes herramientas estadísticas, dado que se obtendrán datos cualitativos y cuantitativos:

Estadística Descriptiva:

- Medidas de centralización
- Medidas de dispersión
- Medidas de posición

Estadística Inferencial:

- Muestreo aleatorio simple
- Medidas de centralización

Para los datos cuantitativos de variables financieras se hará un análisis de ingeniería económica, para obtener los resultados a analizar.

Para los datos cuantitativos puramente de carácter técnico se hará un análisis de comparación con valores referenciados a datos comunes de casos generales y comunes, realizando análisis comparativos.

Herramientas de análisis

Para el análisis de los resultados, se utilizará las siguientes herramientas:

- Excel
- Gráficas
- Ingeniería económica
- Cuadros comparativos

12. CRONOGRAMA

Núm.	NOMBRE DE LA TAREA	DURACIÓN	INICIO	FIN
1	Descripción General de Zonas Rurales Aisladas de Guatemala	14 días	lun 04/07/16	jue 21/07/16
2	Contexto de Proyectos de Energización en Guatemala	5 días	lun 04/07/16	vie 08/07/16
3	Índice de Electrificación de Guatemala	5 días	lun 11/07/16	vie 15/07/16
4	Áreas aun no alcanzadas	5 días	vie 15/07/16	jue 21/07/16
5	Transformador de Tensión Para Servicios Auxiliares	10 días	vie 22/07/16	jue 04/08/16
6	Caracterización	5 días	vie 22/07/16	jue 28/07/16
7	Recopilación de información de fabricantes	5 días	vie 29/07/16	jue 04/08/16
8	Análisis Técnico	27 días	vie 05/08/16	lun 12/09/16
9	Condiciones Técnicas Generales	6 días	vie 05/08/16	vie 12/08/16
10	Diseño Básico de Modelo de Subestación	6 días	lun 15/08/16	lun 22/08/16
11	Red de distribución en baja tensión	6 días	lun 22/08/16	lun 29/08/16
12	Impacto Ambiental	6 días	lun 29/08/16	lun 05/09/16
13	Análisis Comparativo versus tecnología solar	6 días	lun 05/09/16	lun 12/09/16
14	Análisis Económico	16 días	lun 12/09/16	lun 03/10/16
15	Determinación tamaño de inversión	6 días	lun 12/09/16	lun 19/09/16
16	Evaluación Económica	6 días	lun 19/09/16	lun 26/09/16
17	Análisis de Riesgos	6 días	lun 26/09/16	lun 03/10/16
18	Impacto Social	16 días	lun 03/10/16	lun 24/10/16
19	Caracterización de impactos sociales	6 días	lun 03/10/16	lun 10/10/16
20	Descripción de medidas de mitigación	6 días	lun 10/10/16	lun 17/10/16
21	Proposición de programas de desarrollo sostenible dado el proyecto	6 días	lun 17/10/16	lun 24/10/16
22	Resultados	16 días	lun 24/10/16	lun 14/11/16
23	Presentación y análisis de resultados	6 días	lun 24/10/16	lun 31/10/16
24	Conclusiones y recomendaciones	6 días	lun 31/10/16	lun 07/11/16
25	Referencias	6 días	lun 07/11/16	lun 14/11/16
26	Anexos	12 días	lun 14/11/16	mar 29/11/16
27	Corrección de errores	3 días	mier 30/11/16	vier 1/12/16
28	Presentación del informe final	1 día	lun 4/12/16	lun 4/12/16

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización del presente trabajo, será necesario emplear ciertos recursos, estos recursos implican entre otros: tiempo, dinero y recursos humanos. A continuación haremos un pequeño estudio de la factibilidad del mismo.

El tiempo que se plantea utilizar, para la realización del estudio de investigación es de seis meses mínimo, los cuales incluyen los trabajos de investigación de campo y la realización del informe preliminar, luego tendríamos que considerar el tiempo que se lleven las gestiones para la publicación y aprobación del mismo.

Entre los recursos económicos a utilizar, se puede listar los siguientes: el costo del tiempo que se invertirá en la realización de la investigación de campo y la realización del informe preliminar escrito por persona, el costo de cada visita de campo de investigación al campo, costo de las visitas para las revisiones pertinentes del informe, costo de utilería para la realización del informe.

Como recursos humanos, se puede listar: una persona para la elaboración de la investigación de campo, un asesor. Como ingreso, por el momento se cuenta con los honorarios recibidos por mi persona, de la empresa donde actualmente laboro.

A continuación se presenta un cuadro donde se hace un análisis económico, de la factibilidad para la realización del presente trabajo:

Tabla III. Presupuesto mensual

Mes	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto	Sexto	Total
Recurso Humano	Q 300.00	Q 300.00	Q 300.00	Q 450.00	Q 450.00	Q 450.00	Q 2,250.00
Asesor	Q 2,500.00	Q -	Q -	Q 2,500.00	Q -	Q -	Q 5,000.00
Costo Visita de Campo	Q -	Q -	Q 650.00	Q -	Q -	Q 650.00	Q 1,300.00
Costo Visita Revisión	Q 100.00	Q 100.00	Q 100.00	Q 100.00	Q 100.00	Q 100.00	Q 600.00
Utilería	Q 25.00	Q 25.00	Q 25.00	Q 25.00	Q 25.00	Q 25.00	Q 150.00
TOTAL	Q 2,925.00	Q 425.00	Q 1,075.00	Q 3,075.00	Q 575.00	Q 1,225.00	Q 9,300.00

Fuete: elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Economía y Finanzas Dirección General de Política de Inversiones DGPI. (2011). Guía Simplificada para la Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Electrificación Rural, a Nivel de Perfil. Primera edición. Lima Perú.
2. Erwin Vicente Say Cajchum. (2012). Regulación Eléctrica de Zonas Rurales Aisladas de Guatemala. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos, Guatemala.
3. Organización Latinoamericana de Energía –OLADE-. (2013). Aplicación de responsabilidad social corporativa (RSC) en sistemas de energía rural en zonas aisladas de Guatemala.
4. Joram Gil, Mynor Morataya y compañía. (2008). Caracterización de la Demanda de Energía en Zonas Rurales Aisladas de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
5. Sylvia Zavala Trías, MLS. (2012), Guía a la redacción en el estilo APA 6ta edición. Universidad Metropolitana. Cupey.
6. José Raúl Martín. (1987). Diseño de Subestaciones Eléctricas, LIBROS MCGRAW HILL DE MEXICO, S.A. México.

7. Carlos Felipe Ramírez. (1991). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensione, Mejía Villegas, S. A. Ingenieros Consultores, Segunda edición. Colombia.
8. Gilberto Enríquez Harper. (2005). Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas, Limusa Noriega Editores. México.
9. Rosa Aguilera. (2011). Evaluación Social de Proyectos, Facultad de Ciencias Sociales, UDELAR. Uruguay.
10. Gabriela Baca Urbina. (2004). Evaluación de Proyectos Cuarta Edición. McGraw-Hill Interamericana. México.
11. Juan Jose Miranda Miranda. (2004). Gestión de Proyectos (Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos). Cuarta edición. MM Editores.
12. Gabriela Baca Urbina. (2007). Fundamentos de Ingeniería Económica Cuarta edición. McGraw-Hill Interamericana. México.
13. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2010). Comprendió de normas técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Guatemala.
14. Stevenson, Jr. William. (1996). Análisis de Sistemas de Potencia, McGraw-Hill.

15. Universidad Rafael Landívar. (2008). La Política de Desarrollo Rural de Guatemala hacia el 2020, Documento de Propuesta, IARNA-URL/Plan Visión País.
16. Samuel Ramírez Castaño. (2004). Redes de Distribución de Energía. Tercera edición. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Colombia.

