



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Postgrados de Ingeniería  
Maestría en Energía y Ambiente

**SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES  
A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL**

**Ing. Benedicto Estuardo Martínez Guerra**

Asesorado por el Ing. M.Sc. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES  
A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MATESTRÍA  
EN ENERGÍA Y AMBIENTE

POR

**ING. BENEDICTO ESTUARDO MARTÍNEZ GUERRA**

ASESORADO POR EL ING. M.Sc. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

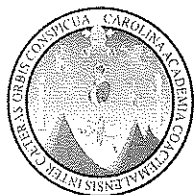


**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA**

DECANO	Ing. M.Sc. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DIRECTOR	Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos
COORDINADOR	Ing. M.Sc. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. M.Sc. Pablo Christian de León Rodríguez
SECRETARIA	Inga. M.Sc. Lesbia Magalí Herrera López



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

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

Ref. APT-2016-067

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **"SUMINISTRO DE ENERGÍA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Industrial **Benedicto Estuardo Martínez Guerra**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO

Guatemala, septiembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

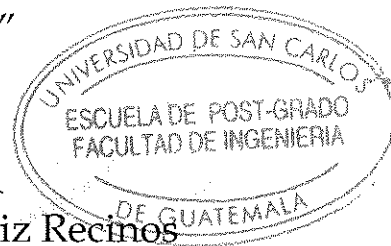
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-067

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Industrial **Benedicto Estuardo Martínez Guerra**, correspondiente al programa de Maestría Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

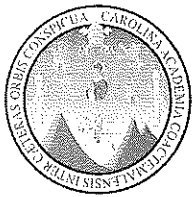
MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-067

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL"** presentado por el Ingeniero Industrial **Benedicto Estuardo Martínez Guerra**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepéque  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, septiembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

**HONORABLE JURADO EVALUADOR QUE PRACTICÓ EL  
EXAMEN DE DEFENSA**

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:

**SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PANELES SOLARES INDIVIDUALES  
A LA ALDEA SEARRANX, LIVINGSTON, IZABAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado en abril de 2016.

**Ing. Benedicto Estuardo Martínez Guerra**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mí guía, por darme fuerzas de continuar y regalarme sus bendiciones todos los días, por permitirme culminar una meta más y compartirla con mi familia.
- Mis padres** Benedicto de Jesús (q.e.p.d.) y María Magdalena Guerra viuda de Martínez, por su ejemplo y amor.
- Mi esposa** Sandra Arriola de Martínez, por su apoyo incondicional, sus ánimos y consejos que me ayudan cada día, por siempre estar a mi lado y nunca dejarme caer.
- Mis hijos** María Celeste, Ana Lucía y José Estuardo Martínez Arriola, por ser ángeles en mi vida, por todas las risas y momentos que hemos compartido, por acompañarme en esta nueva aventura.
- Mis hermanos** Oscar, Hugo, María Elena (q.e.p.d.), Mario, Luz Amparo, Julio y Roberto Martínez Guerra, con especial cariño.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por sus bendiciones y oportunidades, por motivarme y permitirme terminar una logro más en mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por brindarme las herramientas para mi crecimiento profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todas sus enseñanzas, dedicación y motivación, así mismo por las innovaciones que permiten conocer los diferentes campos de aplicación.
<b>Mi familia</b>	Por ser mi equipo y motivación, por ayudarme a continuar y no dejarme vencer, por darme siempre ese amor incondicional que nos ha unido, por estar a mi lado en cada momento y ayudarme a terminar este nuevo reto trazado.
<b>A mi asesor</b>	Ing. M.Sc. Juan Carlos Fuentes Montepeque, por su orientación y ayuda incondicional.
<b>Mis amigos de maestría</b>	Por sus elocuencias y virtudes, por motivarme a continuar y su agradable amistad, por todos los momentos compartidos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
METODOLOGÍA.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	1
1.1. El subsector eléctrico guatemalteco .....	1
1.1.1. Marco Legal .....	1
1.2. Estructura del Mercado Eléctrico Nacional .....	2
1.2.1. Ministerio de Energía y Minas, MEM .....	2
1.2.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE.....	2
1.2.3. Administrador del Mercado Mayorista, AMM .....	2
1.3. Generación .....	3
1.3.1. Plantas productoras de energía eléctrica .....	3
1.3.2. Producción por tipo de combustible.....	6
1.3.3. Producción por tipo de tecnología .....	8
1.4. Transmisión.....	9
1.4.1. Sistema Nacional Interconectado (SNI).....	10
1.5. Distribución.....	10
1.5.1. Sistema de transporte de subtransmisión.....	10
1.5.2. Redes de distribución eléctrica.....	11

	1.5.2.1.	Empresas de distribución .....	11
	1.5.3.	Área de concesión por empresa distribuidora .....	12
2.	COBERTURA ELÉCTRICA EN GUATEMALA .....		15
2.1.	Índice de electrificación .....		15
2.2.	Índice de electrificación por departamento .....		17
3.	GENERACIÓN ELÉCTRICA EN GUATEMALA.....		19
3.1.	Generación eléctrica con energía renovable.....		19
	3.1.1.	Generación hidráulica .....	19
	3.1.2.	Generación geotérmica .....	20
	3.1.3.	Generación eólica .....	21
	3.1.4.	Generación con biomasa.....	21
	3.1.5.	Generación solar .....	21
	3.1.5.1.	Energía Solar .....	22
	3.1.5.2.	Radiación solar y su aprovechamiento .....	22
	3.1.5.3.	Irradiación e insolación.....	22
	3.1.5.4.	Medición de la radiación solar .....	23
	3.1.5.5.	Energía solar fotovoltaica .....	24
	3.1.5.6.	Celdas fotovoltaicas .....	25
	3.1.5.7.	Sistema fotovoltaico .....	25
3.2.	Aplicaciones rurales .....		26
	3.2.1.	Ejemplo de aplicación .....	26
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		29
4.1.	Etapa I: Investigación .....		29
	4.1.1.	Ubicación.....	29
	4.1.2.	Infraestructura .....	30

4.1.3.	Clima y temperatura .....	31
4.1.4.	Población .....	32
4.1.5.	Profesiones y oficios.....	32
4.1.6.	Educación.....	33
4.1.7.	Organización.....	33
4.2.	Etapa II: Evaluación.....	34
4.2.1.	Aspectos naturales .....	34
4.2.1.1.	Brillo solar .....	34
4.2.1.2.	Nubosidad.....	35
4.2.1.3.	Insolación y radiación .....	38
4.2.2.	Aspectos físicos.....	39
4.2.2.1.	Infraestructura eléctrica existente .....	39
4.2.3.	Aspectos administrativos .....	39
4.2.3.1.	Proceso de solicitud de Proyecto ante INDE .....	39
4.2.3.2.	Requisitos del INDE para aprobación de proyectos .....	40
4.2.3.3.	Obligaciones de comunidad beneficiada .....	42
4.3.	Análisis operativo .....	43
4.4.	Análisis técnico.....	44
4.4.1.	Consumo eléctrico por vivienda.....	44
4.4.2.	Consumo eléctrico real .....	48
4.4.3.	Calculo del tiempo de carga de la batería .....	50
4.5.	Estimación del costo de operación y mantenimiento .....	52
4.5.1.	Costos de situación sin proyecto .....	52
4.5.2.	Costos de situación con proyecto .....	53
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	57

CONCLUSIONES.....61  
RECOMENDACIONES .....63  
BIBLIOGRAFÍA.....65  
ANEXOS.....69

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Subsector eléctrico de Guatemala .....	3
2.	Plantas productoras de energía eléctrica.....	6
3.	Gráfica de generación por tipo de combustible.....	7
4.	Generación por tipo de tecnología .....	9
5.	Área de cobertura por empresa de distribución .....	13
6.	Mapa de cobertura eléctrica .....	16
7.	Gráfico del índice de cobertura eléctrica 2015.....	17
8.	Mapa de ubicación de presas en Guatemala.....	20
9.	Tipos de radiación solar .....	24
10.	Vivienda tipo rancho electrificada en Uaxactún .....	27
11.	Vivienda madera-lámina electrificada en Uaxactún. ....	28
12.	Fracción de mapa de ubicación aldea Searranx.....	29
13.	Vivienda madera-paja típica de Searranx. ....	31
14.	Heliofanía promedio de horas de brillo solar.....	37
15.	Radiación solar promedio anual.....	38

## TABLAS

I.	Plantas hidráulicas productoras de energía eléctrica.....	4
II.	Plantas térmicas productoras de energía eléctrica.....	5
III.	Resumen de plantas productoras de energía eléctrica .....	6
IV.	Generación por tipo de combustible.....	7
V.	Generación Sistema Nacional Interconectado .....	8
VI.	Generación Sistema Nacional.....	8
VII.	Empresas de transmisión de energía eléctrica .....	10
VIII.	Área de concesión de empresas distribuidoras de electricidad de Guatemala.....	12
IX.	Índice histórico de cobertura eléctrica.....	15
X.	Índice de cobertura eléctrica 2015 .....	18
XI.	Estación meteorológica Puerto Barrios. Promedios mensuales y anuales de brillo solar en horas .....	34
XII.	Estación meteorológica Puerto Barrios. Promedios mensuales y anuales de nubosidad en octas.....	36
XIII.	Tipo I, Consumo teórico por vivienda, PER-INDE .....	45
XIV.	Tipo II, Consumo teórico por vivienda, PER-INDE .....	45
XV.	Costo de la energía mensual por familia .....	52
XVI.	Aporte familiar mensual para gastos de reemplazo de batería, bombillas y otros gastos menores.....	54
XVII.	Aporte mensual total de 98 familias favorecidas .....	55

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A/día</b>	Amperios por día
<b>A h</b>	Amperios hora
<b>I</b>	Corriente
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>CD</b>	Corriente directa
<b>CC</b>	Corriente continúa
<b>GW</b>	Giga watts
<b>GWh</b>	Giga watts hora
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>Hz</b>	Hertz
<b>km/h</b>	Kilometro por hora
<b>kW/m<sup>2</sup></b>	Kilo watts por metro cuadrado
<b>MW</b>	Mega watts
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Potencia
<b>"</b>	Pulgada
<b>Octa</b>	Unidad de medida de nubosidad
<b>V</b>	Voltaje
<b>VCA</b>	Voltios de corriente alterna



<b>VCD</b>	Voltios de corriente directa
<b>Wh/día</b>	Watts hora por día
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watts por metro cuadrado

## GLOSARIO

<b>Albedo</b>	Relación expresada en porcentaje de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.
<b>Autodescarga</b>	Proceso por el cual el acumulador de la batería se descarga sin estar en uso.
<b>Batería AGM</b>	<i>Absortion Glass Mat.</i> Batería de nueva generación tipo plomo-acido de alta confiabilidad y rendimiento.
<b>Batería gel</b>	Baterías de plomo-ácido selladas, donde el electrolito no es líquido, pero sí gelificado.
<b>Capacidad de la batería</b>	Cantidad de electricidad que se puede obtener al descargarse la batería completamente desde la totalidad de su carga.
<b>Corriente alterna</b>	Corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.
<b>COCODE</b>	Comité Comunitario de Desarrollo
<b>Dicoder</b>	Dirección Coordinadora de Electrificación Rural, INDE.

<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization.</i> Organización Internacional de Normalización. Es una organización para la creación de estándares internacionales compuesto por diversas organizaciones nacionales de estandarización.
<b>Insolación</b>	Es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto.
<b>LED</b>	<i>Light-emitting diode</i> , diodo emisor de luz.
<b>Lúmen</b>	Unidad del Sistema Internacional de Medidas, para medir el flujo luminoso.
<b>Panel fotovoltaico</b>	Están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad, a partir de la luz que incide sobre ellos.
<b>PMER</b>	Programa Multifase de Electrificación Rural del INDE.
<b>Potencia pico</b>	De un elemento fotovoltaico, es la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida: irradiación 1000 W/m <sup>2</sup> , temperatura 25 °C, masa de aire 1.5.
<b>Radiación difusa</b>	Es la recibida de la atmósfera cómo consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol. Puede suponer un 15 % de la radiación global en los días soleados.

<b>Radiación directa</b>	Es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.
<b>Radiación solar</b>	Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.
<b>Radiación total</b>	Corresponde a la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada.
<b>SIN</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>UTM</b>	<i>Universal transversal de Mercator.</i> Sistema de coordenadas basado en la proyección cilíndrica donde se representa una red de paralelo y meridianos perpendiculares.



## **RESUMEN**

El presente trabajo se plantea bajo el interés de electrificar la aldea Searranx, municipio de Livingston en el departamento de Izabal. Motivados por la necesidad de contar con este importante recurso energético para el desarrollo integral de su comunidad.

Lo lejano que se encuentra la comunidad de otros lugares que cuentan con servicio eléctrico, hace necesario pensar en una forma distinta de dotarlos del servicio, ya que hacerlo de la forma convencional con líneas y redes eléctricas supone una inversión muy alta que torna imposible su ejecución.

El planteamiento de este trabajo consiste en evaluar si la región en estudio tiene las condiciones meteorológicas para generar electricidad, por medio de paneles solares y su capacidad de suplir en forma individual los requerimientos de cada vivienda. Asimismo, revisar y preparar la documentación que el INDE requiere a las comunidades para ser sometidas a evaluación, de ser favorable beneficiarse de la ejecución del proyecto.



## METODOLOGÍA

Corresponde a un estudio descriptivo que permite analizar en qué consiste y cómo se manifiesta la falta de energía eléctrica en la aldea Searranx. Define el problema a través de la medición de uno o más de sus atributos que responden a las interrogantes que surgen de su planteamiento inicial.

Del proyecto piloto de electrificación rural desarrollado con paneles fotovoltaicos por el INDE en Uaxactún, se derivan los procedimientos de investigación documental, toma e interpretación de datos, entrevistas a profesionales y técnicos de las diversas instituciones especializadas, visitas de campo, entre otras, que son la base del desarrollo del presente trabajo.

La investigación se fundamenta en dos etapas:

1. Etapa I: Investigación. Consiste en recolectar la información necesaria para determinar si la aldea en estudio llena las condiciones o requisitos pertinentes para ser considerada candidata a electrificarse por medio de paneles solares individuales.
2. Etapa II: Evaluación. Consiste en establecer los aspectos naturales, físicos y administrativos necesarios para ser considerados en el Programa de Electrificación Rural.





## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de energía eléctrica en la comunidad Searranx, en el municipio de Livingston, limita el desarrollo de otros servicios básicos como agua entubada, iluminación, puestos de salud, comunicaciones y muchos usos productivos que necesitan de la electricidad para su desenvolvimiento.

Lo distante que se encuentra la aldea de la línea eléctrica más cercana, aunado a una alta dispersión en las viviendas hace que dotarlos de electricidad por los métodos convencionales de electrificación sea práctica y económicamente inviable.

De lo anterior, surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Es factible suministrar energía eléctrica con paneles solares individuales a la aldea Searranx del municipio de Livingston, departamento de Izabal?
2. ¿Es posible que un sistema fotovoltaico de energía solar residencial pueda proporcionar la demanda básica de electricidad requerida por las familias de la aldea de Searranx?
3. ¿Existe la suficiente exposición o irradiación solar en Searranx para cargar las baterías durante el día y suministrar la energía necesaria para la iluminación durante la noche?
4. ¿Cuál deberá ser el costo por mantenimiento del equipo fotovoltaico que permita a cada vivienda contar con energía eléctrica con esta tecnología?



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar que a través de sistemas fotovoltaicos de energía renovable se puede satisfacer la necesidad energética de los hogares de la comunidad Searranx del municipio de Livingston, departamento de Izabal.

### **Específicos**

1. Estimar el consumo medio por vivienda requerido, para cubrir la necesidad básica de energía eléctrica.
2. Estimar el promedio diario de radiación en la comunidad, a través de mapas de radiación solar o estaciones meteorológicas próximas.
3. Establecer un valor estimado de pago mensual por usuario, para operación y mantenimiento del sistema.



## INTRODUCCIÓN

En Guatemala todavía existen comunidades en zonas rurales aisladas que carecen de electricidad a pesar que el Gobierno en los últimos 15 años ha impulsado la electrificación rural, a través del Plan de Electrificación Rural – PER- del Instituto Nacional de Electrificación, INDE. Estas comunidades se encuentran en los lugares más apartados y más distantes de la infraestructura eléctrica existente lo que ha impedido su inclusión.

En general, la técnica más utilizada para dar acceso a la electricidad es la extensión de la red eléctrica. Sin embargo, esta técnica no es factible cuando se trata de llegar a zonas alejadas, de difícil acceso, pocos habitantes y un alto índice de dispersión en las viviendas. En estos casos son una solución los sistemas solares autónomos, por su descentralización y aprovechamiento de energías renovables.

El presente trabajo de graduación tiene por objeto la identificación y diagnóstico de los requerimientos que las entidades responsables de la planificación y desarrollo de los planes de electrificación, solicitan para incluir a la aldea Searranx en los programas. Asimismo, dentro del análisis se revisan las variables meteorológicas que inciden en el desempeño de los equipos solares.

El nombre Searranx proviene de la lengua Kekchí y su pronunciación común es sarranch, por lo que en ocasiones aparece escrito indistinto Sarranch o Searranx, en el desarrollo del presente trabajo se utilizará Searranx.

En el capítulo uno se describe el Sistema Eléctrico Nacional y sus componentes de generación, transmisión y distribución. En el capítulo dos se hace una descripción de la cobertura eléctrica en Guatemala, considerándose los índices de electrificación. El capítulo tres se centra en la generación de electricidad con energías renovables, hidroeléctricas, geotérmica, eólica y biomasa. El capítulo cuatro describe los elementos y condiciones necesarios para la generación solar. El capítulo cinco presenta las etapas de desarrollo de la investigación. Por último, el capítulo seis describe la factibilidad técnica y operativa.

# **1. SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**

## **1.1. El subsector eléctrico guatemalteco**

“El marco regulatorio en el que se apoya el subsector eléctrico de Guatemala está basado en un modelo de mercado competitivo de costos, que permite el acceso al Sistema Nacional Interconectado a cualquier persona individual o jurídica que así lo desee cumpliendo con los requisitos legales establecidos en la Ley General de Electricidad y sus reglamentos, estableciendo un sistema equilibrado de precios de oferta y demanda para crear así las condiciones necesarias para la competencia.”  
(Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2010)

### **1.1.1. Marco Legal**

El subsector eléctrico de Guatemala, se rige por las siguientes bases legales:

- Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96,
- Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus reformas,
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo No. 299-98 y sus reformas,
- Normas Técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica,
- Normas de Coordinación Comercial y Operativa del Administrador del Mercado Mayorista,



- Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto No. 52-2003,
- Ley de Tarifa Social, Decreto No. 96-2000.

## **1.2. Estructura del Mercado Eléctrico Nacional**

A continuación, se describen los agentes del mercado eléctrico en Guatemala.

### **1.2.1. Ministerio de Energía y Minas, MEM**

Es el responsable de formular y coordinar políticas y planes de Estado relacionados al sector eléctrico y aplicar la Ley General de Electricidad y su Reglamento.

### **1.2.2. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE**

Le corresponden las funciones regulatorias y normativas, posee independencia funcional. Es responsable de determinar los precios y calidad de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorizaciones, con lo cual asegura las condiciones de competencia en el Mercado Mayorista de Electricidad.

### **1.2.3. Administrador del Mercado Mayorista, AMM**

Es el responsable de la administración y operación del Sistema Nacional Interconectado, coordina el despacho del Sistema Eléctrico Interconectado, establece precios a corto plazo del mercado, realiza las transacciones de compra y venta con lo que asegura el abastecimiento de energía eléctrica.

Figura 1. **Subsector eléctrico de Guatemala**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Guía del inversionista (2011).

### 1.3. **Generación**

“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”. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2010)

La infraestructura de generación de un país debe tener capacidad para satisfacer la máxima demanda de potencia, incluso si sólo es por unas horas al día, unos cuantos días al año.

#### 1.3.1. **Plantas productoras de energía eléctrica**

Actualmente, existen diferentes tipos de tecnología que permiten aprovechar la energía de los recursos existentes, sean renovables o no renovables. En Guatemala, la generación de energía eléctrica inicio en 1884,

con una hidroeléctrica en la finca El Zapote. Un año después se crea la Empresa Eléctrica del Sur, por empresarios alemanes; quienes instalaron la hidroeléctrica Palín con una capacidad de 732 kW, para servir a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.

A continuación, se presenta una lista de plantas generadoras existentes en el país:

Tabla I. **Plantas hidráulicas productoras de energía eléctrica**

Planta hidráulica	Energía (GW)
Chixoy	1 790,83
Aguacapa	298,74
Jurún Marinalá	292,46
Esclavos	57,49
Pequeñas Hidro	53,68
Río Bobos	53,92
Secacao	111,57
Pasabién	58,56
Poza Verde	44,25
Las Vacas	98,99
El Canadá	206,32
Matanzas + San Isidro	70,12
Renace	331,53
Palín II	20,29
Montecristo	56,83
Candelaria	29,59
El Recreo	134,16
Hidro Xacbal	435,31
Panán	30,21
Santa Teresa	79,32
Cholomá	39,09
Palo Viejo	386,05
Visión de Águila	9,34
El Manantial	0,56
Total	4 689,20

Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Tabla II. **Plantas térmicas productoras de energía eléctrica**

<b>Plantas térmicas</b>	<b>Energía (GW)</b>	<b>Plantas térmicas</b>	<b>Energía (GW)</b>
<b>Turbinas de vapor</b>	<b>1 743,3</b>	Electrogeneración	25,45
San José	970,22	Generadora Progreso	0,02
La Libertad	110,59	Coenesa	0,06
Palmas 2	411,39	Intecsa	0,12
Costa Sur	200,98	Genosa	6,41
Santa Lucía	44,56	<b>Turbinas de gas</b>	<b>3,5</b>
Arizona Vapor 1	5,53	Tampa	1,41
<b>Geotérmicas</b>	<b>246,6</b>	Stewart & Stevenson	0,98
Orzunil	86,26	Esc. Gas No.5	0,41
Ortitlán	160,34	Laguna Gas 2	0,68
<b>Cogeneradores (T.Vapor)</b>	<b>1 731,7</b>	<b>Generación distribuida</b>	<b>141,57</b>
Concepción	81,04	Santa Elena	1,65
Pantaleón	216,98	Kaplan Chapina	2,52
Santa Ana	169,76	Cueva María	24,24
Magdalena	821,96	Los Cerros	3,66
La Unión	117,33	Covadonga	5,00
Madre Tierra	91,22	Jesbon Maravillas	1,87
Tululá	45,81	El Prado	1,25
Trinidad	59,37	Oscana	4,80
El Pilar	32,98	Hidro Hdmm	15,23
Palo Gordo	92,50	Hidro La Perla	11,88
Generadora del Atlántico	2,76	Hidroeléctrica Sac-Ja	11,63
<b>Motores recíprocantes</b>	<b>1 224,8</b>	San Joaquín 2	5,55
Arizona	379,31	Luarca	1,42
La Esperanza	402,42	Las Victorias	2,81
Las Palmas 1	19,39	El Libertador	2,04
Las Palmas 2	24,64	El Ixtal	6,50
Las Palmas 3	25,20	Coralito	10,62
Las Palmas 4	3,55	El Zambo	5,02
Las Palmas 5	2,39	Monte María	2,72
Genor	179,60	Hidroeléctrica Laguna	9,28
Sidegua	3,73	Fotovoltaica Sibó	7,10
Textiles B1	30,54	Gdr La Paz	1,47
Textiles B2	21,17	Gdr Guayacán	3,30
Textiles B3	48,52	Punta del Cielo	0,01
<b>Total generación por plantas térmicas</b>			<b>4 949,90</b>

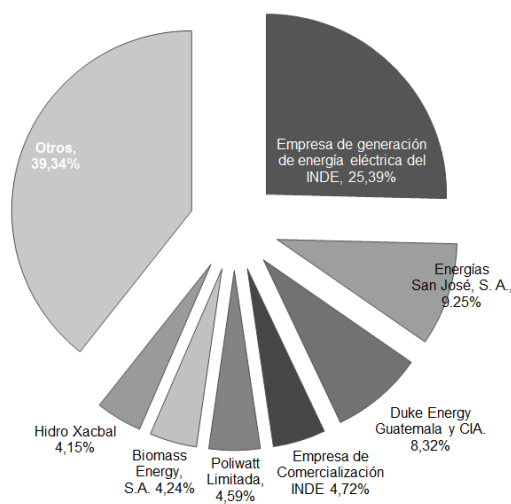
Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Tabla III. **Resumen de plantas productoras de energía eléctrica**

Total Plantas Hidráulicas	4 689,20
Total Plantas Térmicas	4 949,90
Importaciones (-)	544,74
Exportaciones (+)	1 052,55
Neto	507,82
Demanda S.N.I.	9 272 842
Total Generación	9 780 657

Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Figura 2. **Plantas productoras de energía eléctrica**



Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

### 1.3.2. Producción por tipo de combustible

El tipo de combustible es el recurso mediante el cual se genera la energía eléctrica. Los cuales pueden ser renovables, como los recursos hídricos, vapor geotérmico, biomasa, solar o no renovables para el bunker, diésel y carbón. En

Guatemala, la mayoría de centrales generadoras con combustible renovable son hidroeléctricas.

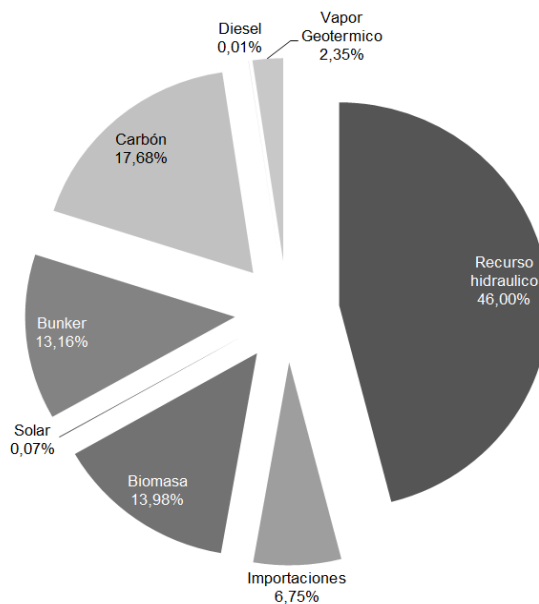
A continuación, se presenta la generación de energía por tipo de combustible:

Tabla IV. **Generación por tipo de combustible**

Tipo de combustible	Energía (GWh)	Porcentaje
Bunker	1 380,22	13,16%
Carbón	1 854,73	17,68%
Diésel	1,18	0,01%
Vapor geotérmico	246,60	2,35%
Recursos hidráulicos	4 825,15	46,00%
Importaciones	708,20	6,75%
Biomasa	1 467,29	13,98%
Solar	7,10	0,07%
<b>Total</b>	<b>10 490,46</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Figura 3. **Gráfica de generación por tipo de combustible**



Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

### 1.3.3. Producción por tipo de tecnología

En el siguiente cuadro se aprecia que la tecnología que más aportó energía fueron las hidroeléctricas, seguidas por las turbinas de vapor, los motores de combustión interna, geotérmicas, solar y las turbinas de gas.

Tabla V. **Generación sistema nacional interconectado**

Tipo de central	Energía (GWh)	Porcentaje
Hidroeléctricas	4 823,66	49,32%
Geotérmicas	246,60	2,52%
Turbinas de vapor	3 469,46	35,47%
Turbinas de gas	3,48	0,04%
Motores combustión interna	1 230,36	12,58%
Solar	7,10	0,07%
<b>Total</b>	<b>9 780,66</b>	<b>100,00%</b>

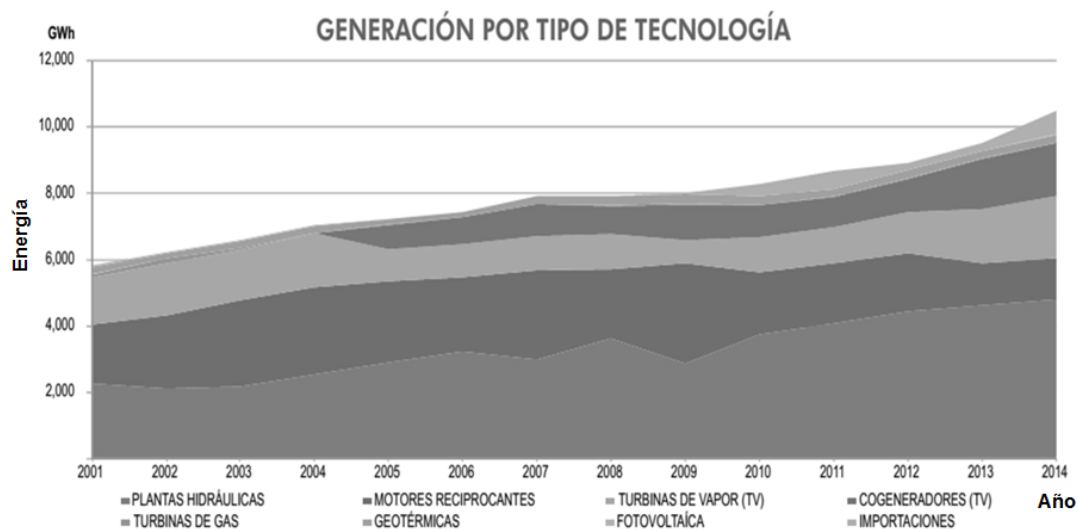
Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Tabla VI. **Generación sistema nacional**

Tipo de central	Energía (GWh)	Porcentaje
Hidroeléctricas	4 856,86	45,62%
Geotérmicas	246,60	2,32%
Turbinas de vapor	4 220,76	39,68%
Turbinas de gas	3,48	0,03%
Motores combustión interna	1 306,46	12,28%
Solar	7,10	0,07%
<b>Total</b>	<b>10 637,26</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

Figura 4. **Generación por tipo de tecnología**



Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

#### 1.4. Transmisión

“El transportista es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2010).

Para transmitir la energía eléctrica desde los distintos centros de generación hasta los centros de consumo, el sistema nacional de transmisión eléctrica cuenta con una infraestructura aproximada de 1 063 km en distintas tensiones. Son cuatro las empresas que prestan el servicio de transmisión de electricidad en Guatemala:

- Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica, ETCEE
- Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A. TRELEC
- Redes Eléctricas de Centroamérica, S.A.



- Duke Energy International Transmisión Guatemala, Ltda.

Tabla VII. **Empresas de transmisión de energía eléctrica**

Empresa transportista	Longitud (km)			Total
	69 KV	138 KV	230 KV	
Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica	1 432	297	669	2 398
Duke Energy International Transmisión Guatemala	0	0	33	33
Redes Eléctricas de Centroamérica, S.A.	696	0	0	696
Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A.	559	0	64	623
<b>Total</b>	<b>2 687</b>	<b>297</b>	<b>766</b>	<b>3 750</b>

Fuente: AMM, Informe estadístico anual, (2014).

#### 1.4.1. Sistema Nacional Interconectado (SNI)

Es el conjunto de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas conectadas entre sí, que permiten la transferencia de energía eléctrica entre los diversos sistemas de generación eléctrica del país (ver Anexo I).

### 1.5. Distribución

“Las empresas distribuidoras son agentes del sector eléctrico que participan en el mercado, cubren un área geográfica delimitada y su función consiste en distribuir energía eléctrica a la población a precios de tarifa regulada por medio de infraestructura de distribución no mayor de 60 kV.” (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2010).

#### 1.5.1. Sistema de transporte de subtransmisión

Son las líneas con voltaje de operación menor a 60 kV, utilizadas para transportar energía eléctrica a distintos sectores de consumo. Los voltajes más utilizados corresponden a 34,5 kV y 13,2 kV.

## **1.5.2. Redes de distribución eléctrica**

Las redes o líneas de distribución corresponden a la infraestructura que poseen las distribuidoras para el suministro de energía eléctrica a sus clientes; debe garantizar la calidad y suministro del servicio, la seguridad de las instalaciones eléctricas, bienes y vida de las personas. Para la construcción de este tipo de infraestructura gozan de autorización del uso de los bienes de dominio público, estos pueden ser: líneas férreas, calles, caminos o cruce de ríos.

### **1.5.2.1. Empresas de distribución**

En Guatemala existen las siguientes empresas de distribución de energía eléctrica legalmente autorizadas:

- Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A., EEGSA
- Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A., DEOCSA
- Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A., DEORSA
- Empresa Eléctrica de Zacapa
- Empresa Eléctrica de Gualán
- Empresa Eléctrica de San Pedro Pinula
- Empresa Eléctrica de Jalapa
- Empresa Eléctrica de Puerto Barrios
- Empresa Eléctrica de Guastatoya
- Empresa Eléctrica de Sayaxché
- Empresa Eléctrica de Quetzaltenango
- Empresa Eléctrica de Retalhuleu
- Empresa Eléctrica de San Pedro Sacatepéquez
- Empresa Eléctrica de Huehuetenango

- Empresa Eléctrica de Joyabaj
- Empresa Eléctrica de Santa Eulalia
- Empresa Eléctrica de Tacaná
- Empresa Eléctrica de San Marcos
- Empresa Eléctrica Rural de Ixcán, Playa Grande

### 1.5.3. Área de concesión por empresa distribuidora

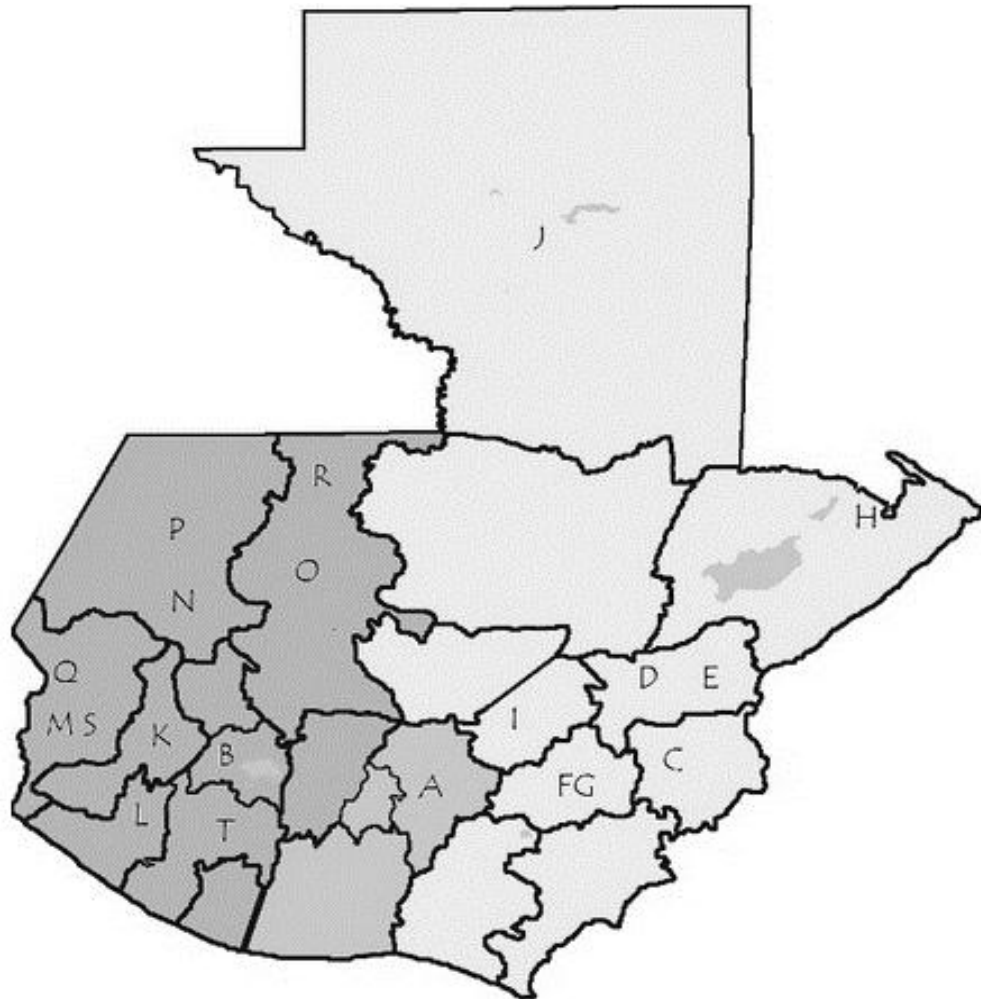
Corresponde al área o región autorizada para prestar el servicio de distribución final de energía eléctrica que tiene cada empresa legalmente constituida para ser distribuidora de electricidad.

Tabla VIII. **Área de concesión de empresas distribuidoras de electricidad de Guatemala**

<b>Empresa distribuidora</b>	<b>Área de concesión</b>
Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA)	Departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.
Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A.	Parte Norte – Sur – Occidente del país.
Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A.,	Parte Norte – Sur – Oriente del país.
Empresas Eléctricas Municipales	Se limitan a la ciudad o cabecera municipal a que pertenecen.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE (2014).

Figura 5. Área de cobertura por empresa de distribución



Empresas Distribuidoras de Electricidad en Guatemala	
A:	Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
B:	Energuate, Distribuidora de Electricidad de Occidente, S. A. (DEOCSA)
C:	Energuate, Distribuidora de Electricidad de Oriente, S. A. (DEORSA)

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE (2016).



## 2. COBERTURA ELÉCTRICA EN GUATEMALA

### 2.1. Índice de electrificación

La cobertura eléctrica es el grado de electrificación o la cantidad de habitantes beneficiados por este servicio en un área determinada. La cobertura se mide por un “índice de cobertura eléctrica”, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Cobertura} = \frac{\text{hogares electrificados}}{\text{hogares totales}} * 100$$

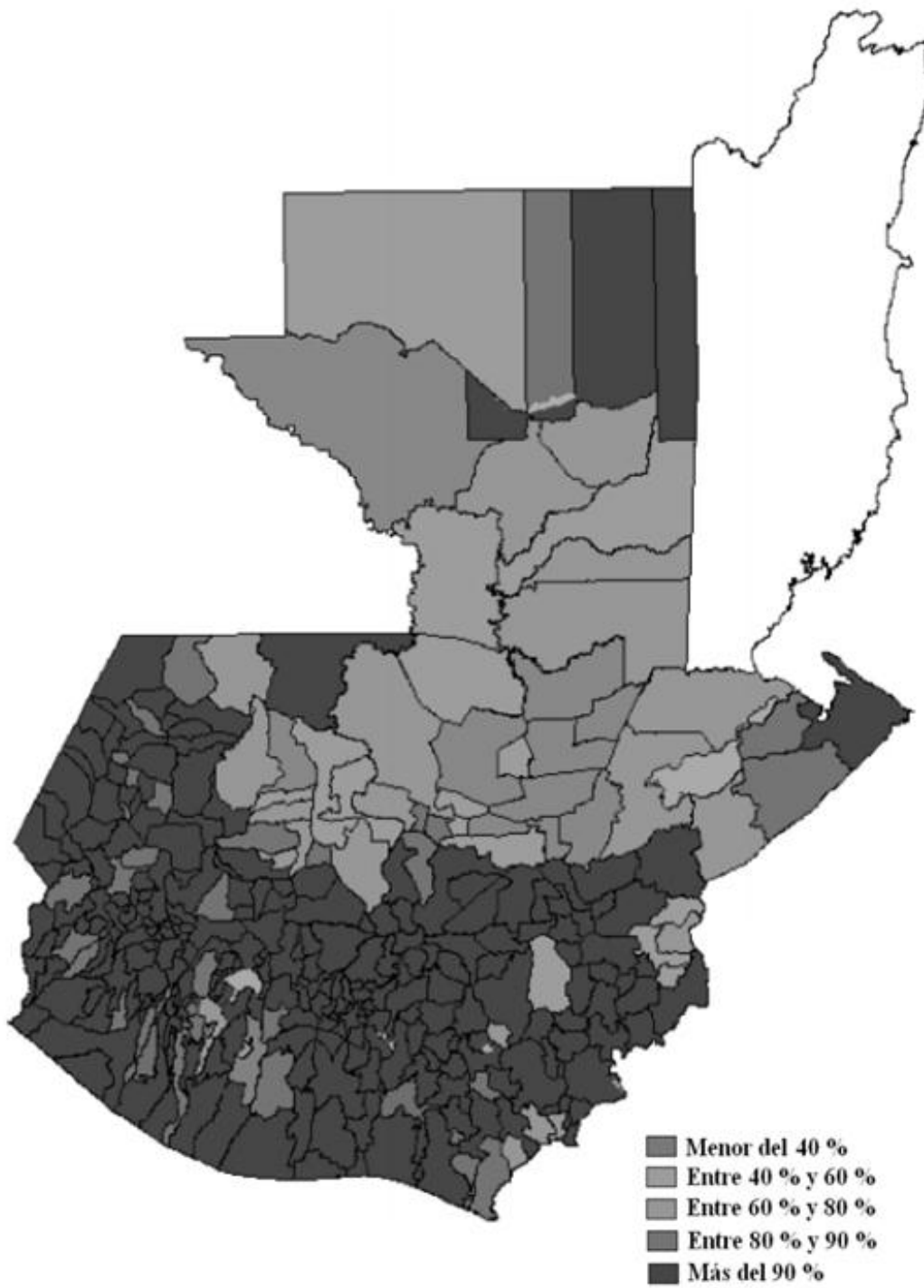
Los hogares electrificados corresponden a los usuarios de energía eléctrica conectados a una red de distribución y los que poseen iluminación, por medio de paneles solares.

Tabla IX. Índice histórico de cobertura eléctrica

Descripción / año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Índice de cobertura eléctrica	84,7%	83,5%	82,4%	82,7%	84,1%	84,9%	89,6%	90,2%

Fuente: Dirección General de Energía, MEM (2014).

Figura 6. **Mapa de cobertura eléctrica**

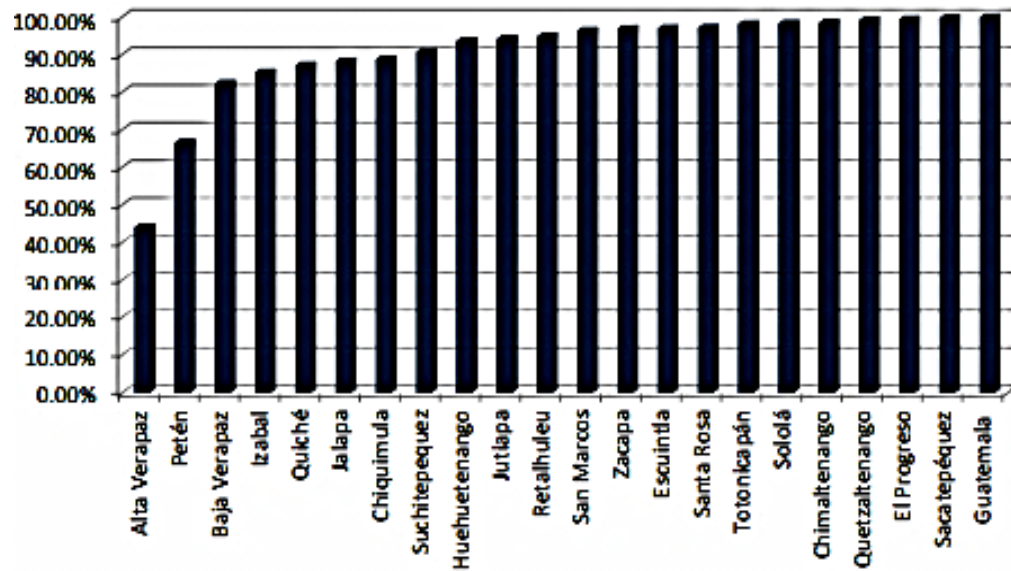


Fuente: MEM, Planes indicativos de generación y transmisión, (2016).

## 2.2. Índice de electrificación por departamento

En el siguiente cuadro y gráfico se muestra el índice de electrificación por departamento:

Figura 7. Gráfico del índice de cobertura eléctrica 2015



Fuente: MEM, Planes indicativos de generación y transmisión, (2016).



Tabla X. Índice de cobertura eléctrica 2015

Departamento	Viviendas	Usuarios	Índice
Izabal	210 818	92 940	44,09%
Baja Verapaz	62 306	48 565	77,95%
Chimaltenango	124 197	122 104	98,31%
Chiquimula	80 897	68 828	85,08%
El Progreso	38 473	38 182	99,24%
Escuintla	168 088	162 382	96,61%
Guatemala	755 748	755 304	99,94%
Huehuetenango	225 291	206 084	91,47%
Izabal	100 935	82 855	82,09%
Jalapa	70 310	62 009	88,19%
Jutiapa	106 986	99 756	93,24%
Petén	138 276	92 111	66,61%
Quetzaltenango	170 516	168 544	98,84%
Quiché	186 667	158 765	85,05%
Retalhuleu	65 703	62 298	94,82%
Sacatepéquez	68 070	67 867	99,70%
San Marcos	197 304	188 886	95,73%
Santa Rosa	81 955	79 043	96,45%
Sololá	83 661	82 004	98,02%
Suchitepéquez	110 622	100 373	90,74%
Totonicapán	97 296	95 116	97,76%
Zacapa	48 465	45 722	94,34%
<b>A NIVEL NACIONAL</b>	<b>3 192 584</b>	<b>2 879 738</b>	<b>90,20%</b>

Fuente: MEM, Planes indicativos de generación y transmisión, (2016).

### **3. GENERACIÓN ELÉCTRICA EN GUATEMALA**

#### **3.1. Generación eléctrica con energía renovable**

A continuación, se describen los diferentes tipos de generación con energía renovables utilizados en Guatemala:

##### **3.1.1. Generación hidráulica**

Consiste en generar energía eléctrica al aprovechar el agua en movimiento de los ríos o para formar embalses que permitan descargar el agua de acuerdo a programas específicos. El principio es aprovechar la diferencia de altura en los causes o del embalse con la casa de máquinas, de tal manera que el movimiento del agua permita hacer girar las turbinas que a su vez hacen girar los generadores de electricidad.

De los 9 780,66 GWh generados en Guatemala en el año 2014, un total de 4 823,66 GWh, se generaron con hidroeléctricas, es decir, 49,32%. (Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía, 2015).

Figura 8. **Mapa de ubicación de presas en Guatemala**



Fuente: CNEE, Imagen satelital de Google Earth, (2016).

### 3.1.2. **Generación geotérmica**

Consiste en aprovechar el calor proveniente del interior de la tierra para generar electricidad. Generalmente se explota en zonas volcánicas, pero no se restringe solamente a ellas; a medida que se profundiza en el interior del globo terráqueo la temperatura aumenta, por lo tanto, para que un pozo de extracción de vapor pueda ser aprovechado para generar energía eléctrica sus costos de explotación deberán ser relativamente bajos.

En Guatemala, la contribución de la generación geotérmica a la producción total durante el año 2014, fue de 246,6 GWh, corresponde al 2,0% del total. (Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía, 2015).

### **3.1.3. Generación eólica**

Es la energía producida por el viento que permite mover el rotor de un generador, que a su vez producirá energía eléctrica. La generación de energía eléctrica eólica contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero al reemplazar métodos de generación a través de residuos fósiles.

Es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas e inclusive estacionales de los vientos para seleccionar las zonas de instalación de plantas de generación eólica. La velocidad del viento, su comportamiento con respecto a la altura del suelo, entre otras, son variables que deberán de considerarse.

### **3.1.4. Generación con biomasa**

Consiste en generar energía eléctrica a través de la incineración de recursos animales y vegetales, son recursos renovables el bagazo de caña de azúcar, la cascara de trigo, arroz y leña.

En Guatemala, la contribución de la generación con bagazo de caña a la producción total de energía eléctrica en el año 2 014, fue 1 731,7 GWh, que correspondió al 18% de la producción total de ese año.

### **3.1.5. Generación solar**

Consiste en la generación de energía eléctrica a través de la energía solar, la cual se explica a continuación:

### **3.1.5.1. Energía Solar**

Es la energía en forma de radiación electromagnética, calor, luz y rayos ultravioleta que proviene del sol. Este tipo de energía se puede aprovechar en dos formas: conversión fotovoltaica y conversión térmica.

La conversión térmica consiste en convertir energía solar en energía térmica para almacenarse en un líquido, para este proceso se utilizan colectores solares que pueden ser de baja y alta temperatura. Los primeros generalmente se utilizan para calefacción residencial y los segundos que a través de espejos producen vapor que puede utilizarse para mover turbinas para producción de energía eléctrica.

### **3.1.5.2. Radiación solar y su aprovechamiento**

La radiación solar corresponde al flujo de energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas en diferentes frecuencias. De la radiación solar que incide en un lugar dependen sus características climáticas. Las franjas paralelas al Ecuador o latitudes determinan los patrones climáticos característicos y dependen fundamentalmente de la incidencia de la radiación solar en ellas.

### **3.1.5.3. Irradiación e insolación**

El término irradiancia se utiliza para determinar la cantidad de energía que se capta en un área y tiempo específico. Por lo anterior, la irradiancia no es constante en el tiempo, debido a la variación de la distancia entre la tierra y el sol, la unidad de medida es  $\text{kW/m}^2$ .

La insolación es la acumulación de energía promedio durante un período de tiempo, su unidad de medida es kWh/m<sup>2</sup>.

Para calcular un sistema fotovoltaico para un determinado uso o consumo, es necesario determinar el nivel de insolación por día en el lugar donde se necesita la instalación.

#### **3.1.5.4. Medición de la radiación solar**

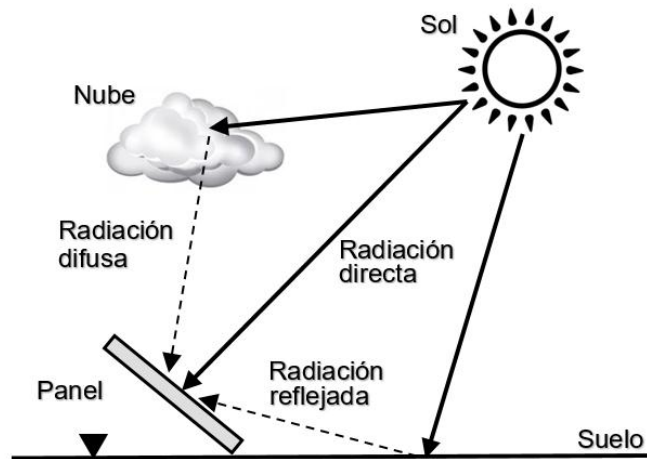
La radiación solar se mide por medio de un aparato denominado piranómetro. El balómetro mide la radiación térmica solar y la intensidad lumínica se mide con un heliógrafo.

La radiación directa es la que llega del sol sin haber cambio en su dirección, proyecta sombras definidas de los objetos opacos que la interceptan.

La radiación difusa corresponde a la radiación que atraviesa la atmosfera y es absorbida o reflejada por las nubes, el polvo, vapor de agua, entre otros, y se refleja en todas direcciones y no define sombras en los objetos opacos que se interponen.

La radiación que se refleja en la superficie terrestre y otras superficies próximas a consecuencia de radiación directa o difusa, corresponde a la radiación reflejada. La radiación total corresponde a la suma de las tres radiaciones y se conoce como radiación global.

Figura 9. Tipos de radiación solar



Fuente: elaboración propia (2016).

### 3.1.5.5. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en electricidad. La electricidad se produce a través de un dispositivo semiconductor denominado panel o célula fotovoltaica, donde la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor y se genera una diferencia de potencial y según su conexión, se pueden obtener diferencias de potencial mayores.

Existen innumerables aplicaciones de utilizar esta energía, aparatos o equipos autónomos, viviendas y refugios aislados de la red eléctrica y en aplicaciones en serie de varios paneles para generar energía suficiente, para conectarla a la red de distribución eléctrica.

El efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue descubierto por Francés Edmund Becquerel, en la década de los años 50, con la carrera

espacial empieza a experimentar su desarrollo. En sus inicios se utilizó para suministrar electricidad a satélites, actualmente, constituye una tecnología muy importante de generación eléctrica renovable.

#### **3.1.5.6. Celdas fotovoltaicas**

La mayoría de paneles solares utilizan Silicio (Si) para el material semiconductor y en presencia de rayos solares producen electricidad.

En función del tipo de células que forman los paneles se clasifican en:

- Monocristalinos: Compuestos en secciones de un único cristal de silicio, generalmente circular u octagonal.
- Policristalinos: Formados por pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfas: Cuando el silicio no se ha cristalizado.

#### **3.1.5.7. Sistema fotovoltaico**

Los generadores fotovoltaicos producen electricidad al recibir la luz del sol (irradiancia solar) y la energía resultante es proporcional a la irradiancia sobre su superficie. En general, un sistema fotovoltaico está formado por:

- Panel fotovoltaico
- Batería o acumulador
- Regulador de carga
- Inversor
- Carga o consumo



### **3.2. Aplicaciones rurales**

El suministro de energía eléctrica con paneles solares a viviendas distantes de las redes de distribución convencional, es común en la actualidad, tanto, en países desarrollados como en vías de desarrollo. “Casas aisladas (electrificación distribuida) o pueblos enteros (electrificación centralizada), pueden generar su propia electricidad, asimismo, clínicas, refrigeradores para vacunas, radios y otras cargas críticas, pueden operar al contar con sus propios equipos de generación independientes.” (Abella, M. 2015).

Regularmente, los sistemas exteriores de iluminación son pequeños sistemas descentralizados que se adaptan perfectamente a las ventajas de los sistemas fotovoltaicos. Cada punto de iluminación puede tener su propio generador, batería y panel de control para ser más flexible y confiable.

Por ejemplo se pueden citar:

- Señalización en carreteras
- Iluminación y rotulación de paradas de autobús
- Iluminación de jardines
- Linternas portátiles
- Iluminación de vías públicas, entre otros

#### **3.2.1. Ejemplo de aplicación**

El INDE, por medio del Programa Multifase de Electrificación Rural, ejecutó en 2014, un plan piloto con fuentes de energía renovable al instalar 185 sistemas fotovoltaicos en la aldea Uaxactún (ver Anexo II), situada a 23 km del Parque Nacional Tikal y a 90 km de la cabecera departamental de Flores. “Así,

los vecinos de Uaxactún contarán con 15 horas de electricidad al día, que es la capacidad que poseen las baterías, con lo cual podrán utilizar 5 lámparas, 1 radio y 1 televisor. Lo que no habrá es alumbrado público, pues los mismos pobladores lo rechazaron. Ellos (los comunitarios) consideraron que se perdería el concepto de patrimonio cultural, por lo cercano que está el sitio arqueológico, manifestó Carolina Grajeda.” (Estrada, 2013).

El INDE, cuenta con un portafolio de proyectos de comunidades retiradas de la red de distribución en Quiché, Alta Verapaz, Izabal y Petén, entre otros departamentos, que con base a los resultados obtenidos del proyecto piloto de sistemas aislados en Uaxactún, están consideradas para beneficiarse de la electrificación por medio de sistemas aislados con paneles solares.

Figura 10. **Vivienda tipo rancho electrificada en Uaxactún**



Fuente: Coordinación PMER – INDE, (2015).

Figura 11. **Vivienda madera-lámina electrificada en Uaxactún.**



Fuente: Coordinación PMER – INDE, (2015).

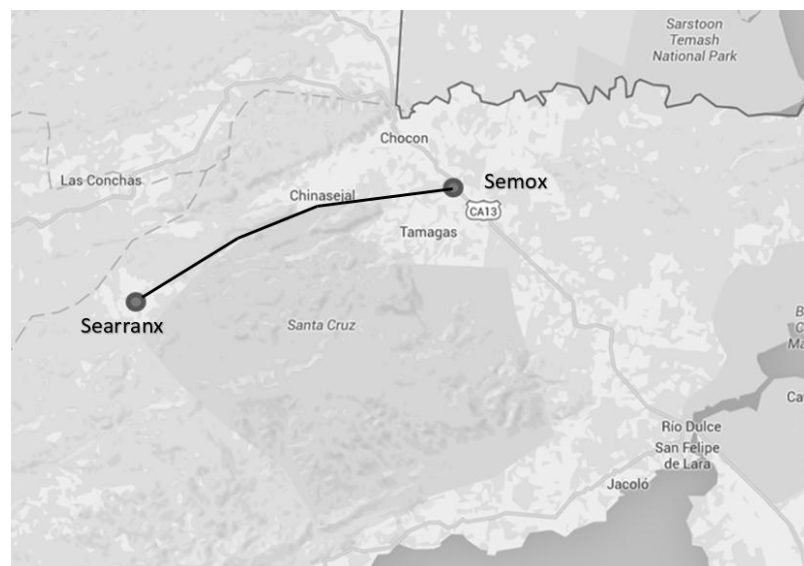
## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Etapa I: Investigación

#### 4.1.1. Ubicación

La aldea Serranx es una de varias comunidades que se encuentran ubicadas en el lado noroeste del Lago de Izabal, con coordenadas 16P 238 863 UTM 1 741 356 y altitud de 198 msnm. Actualmente, carece de energía eléctrica y se encuentra a una distancia de 36,3 km de la aldea Semox, en la ruta CA-13, inicio de la carretera de entrada para la comunidad (ver Anexo X).

Figura 12. Fracción de mapa de ubicación aldea Serranx



Fuente: Google earth, ubicación de aldea Serranx, (2016).

#### **4.1.2. Infraestructura**

Cuenta con una escuela de primaria y preprimaria bilingüe con servicios sanitario y cocina, un salón de usos múltiples con servicio sanitario, iglesia católica de construcción sólida con salón parroquial, tres iglesias evangélicas, ubicadas dos en el sector norte y otra en el sector suroeste de la comunidad, y un puesto de salud que atiende a 12 comunidades adicionales.

La aldea posee agua entubada sin tratamiento de cloración, no cuenta con drenajes o alcantarillas, es común el uso de letrinas en las viviendas. Carece de un área específica para depósito de basura.

En el centro de la aldea las viviendas tienen una dispersión media entre 50 y 70 m, a medida que se alejan del centro la dispersión aumenta hasta alcanzar distancias entre 80 y 120 m.

Las construcciones del centro son de adobe, madera y techos de láminas de zinc o teja de arcilla, conforme se alejan del centro las construcciones son cada vez más sencillas hasta llegar a ranchos con paredes de troncos de madera y techos de paja.

Figura 13. **Vivienda madera–paja típica de Searranx**



Fuente: Coordinación PMER – INDE, (2016).

#### **4.1.3. Clima y temperatura**

El departamento de Izabal se encuentra ubicado en la región de las Planicies del Norte, comprende las planicies de Petén, la región norte de Huehuetenango, Alta Verapaz, El Quiché e Izabal. Se caracterizan por tener elevaciones entre 0 y 300 msnm, corresponden a territorios muy lluviosos durante el año con precipitaciones más intensas en los meses de junio a octubre (ver Anexo III). La temperatura predominante oscila entre 20 y 30°C (ver Anexo IV). En estas regiones se manifiestan climas cálidos, con variación entre muy húmedo, húmedo y semisecos (ver Anexo V); carecen de estación seca definida. La vegetación predominante es del tipo bosque y selva.

La estación meteorológica del INSIVUMEH que mejor describe el área, es la estación principal meteorológica Puerto Barrios, que proporciona los siguientes datos anuales:

- Temperatura media, 26,4 °C

- Temperatura máxima, 30,1 °C
- Temperatura mínima, 22,1 °C
- Temperatura máxima absoluta, 34,9 °C
- Temperatura mínima absoluta, 14,8 °C
- Precipitación pluvial anual, 3 209,9 mm
- Tiempo de lluvia anual, 200 días
- Nubosidad, 7 octas
- Humedad relativa media, 80%
- Brillo solar, 6 horas
- Presión atmosférica, 758,5 mb
- Velocidad del viento, 8,5 km/h

#### **4.1.4. Población**

El recuento de casas dio un resultado de 117 viviendas, de las cuales 98, son construcciones que se consideran sólidas, por lo tanto, candidatas para proyectos de electrificación. En promedio se calculan 5 ocupantes por vivienda, resultando 585 habitantes. La mayoría de las familias son propietarias de los terrenos donde tienen sus viviendas y según manifiestan no existen invasiones en el área ni asociaciones que atenten contra el normal desempeño de la comunidad.

#### **4.1.5. Profesiones y oficios**

La mayor parte de los habitantes masculinos en edad productiva se dedican a la agricultura en parcelas propias, principalmente al cultivo de maíz, otro sector se dedica a trabajar en las fincas ganaderas cercanas; un bajo porcentaje trabaja fuera de la aldea en lugares como Modesto Méndez,

Fronteras río Dulce y Morales; otro grupo se dedica a la carpintería, albañilería, comercio en tiendas de consumo diario, entre otros.

La mayor parte de mujeres se dedica a los quehaceres domésticos y en tiempo de cosecha colaboran con los hombres para la recolección.

#### **4.1.6. Educación**

El nivel de escolaridad de la población adulta que sabe leer y escribir es de primer y segundo año de primaria. Los niños en edad escolar asisten a clases por las mañanas y cerca del 16% logran terminar el nivel primario. La mayor parte de la deserción estudiantil ocurre en tiempo de cosecha.

La población adulta mayor de 35 años, no lee ni escribe, con ayuda de vecinos se identificaron 37 personas adultas que saben leer y escribir.

#### **4.1.7. Organización**

La aldea cuenta con un Consejo Comunitario de Desarrollo, COCODE, que tiene por objeto promover y llevar a cabo políticas participativas de la comunidad para priorizar e identificar proyectos, programas y planes de beneficio.

El COCODE se encuentra conformado por las siguientes personas:

- Presidente: Cesario Cac Ixim
- Vicepresidente: Pedro Ax Ixim
- Secretario: Daniel Cuz
- Tesorero: Mariano Choc



## 4.2. Etapa II: Evaluación

### 4.2.1. Aspectos naturales

Son aquellos inherentes al lugar que limitan el uso de energías renovables, en este caso los paneles solares.

#### 4.2.1.1. Brillo solar

La duración media del brillo solar o heliofanía en horas, es el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre una localidad, desde el alba hasta el atardecer.

Tabla XI. **Estación meteorológica Puerto Barrios. Promedios mensuales y anuales de brillo solar en horas**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AnualN
1995	6,5	7,3	8,3	5,2	5,7	7,1	7,0	8,2	6,3	5,6	5,3	3,8	6,4
1996	6,5	5,7	7,7	7,3	3,7	0,0	6,7	7	7,7	---	4,5	5,8	5,7
1997	8,8	7,9	8,7	8,4	6,7	5,4	---	---	---	5,8	---	---	7,4
1999	---	---	---	7,5	5,6	4,6	4,2	7,5	6,6	7,0	4,9	---	6,0
2000	6,1	5,7	---	8,5	5,4	4,7	5,6	---	6,7	---	5,7	3,4	5,8
2001	6,5	5,8	8,2	9,1	6,6	7,0	7,7	7,4	7,1	5,4	4,8	4,6	6,7
2002	6,3	5,7	---	8,7	7,0	6,8	6,6	7,9	6,9	7,6	5,1	---	6,9
2003	5,1	10,8	8,7	7,7	6,1	7,2	6,8	---	---	---	---	---	7,5
2004	---	---	6,3	---	---	---	---	7,7	8,4	5,9	4,8	3,9	6,2
2005	5,3	5,9	7,0	6,9	6,4	---	7,5	6,8	6,6		4,4	4,9	6,2
2006	4,2	8,9	7,6	8,5	7,3	4,4	5,6	6,3	7,6	6,1	4,6	3,4	6,2
2007	5,4	6,7	7,1	7,9	6,8	6,8	7,9	7,1	5,8	5,2	3,7	5,3	6,3
2008	5,3	7,8	7,3	7,9	7,1	5,1	6,4	8,2	6,8	2,7	8,2	3,8	6,4
2009	4,8	5,5	7,6	7,6	6,7	6,3	5,0	7,7	6,7	7,6	4,4	5,8	6,3
2010	4,2	5,7	5,4	6,8	6,6	6,7	6,0	7,4	7,3	5,0	5,5	5,0	6,0

Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2016).

De la tabla anterior, se puede establecer que en Puerto Barrios el promedio anual de horas de brillo solar es 6,4 por día. Este valor es muy cercano a la isohelia que se observa en la figura 12 para Puerto Barrios, 2 400 horas año, (6,6 h/día).

Siempre en la figura 12, se observa que Searranx se encuentra ubicada en el punto medio entre las isohelias 2 000 y 2 200 horas de brillo solar anual, por lo que al interpolar las curvas se tiene 2 100 horas de brillo solar anual para la aldea.

#### **4.2.1.2. Nubosidad**

Se refiere cuando el sol a consecuencia de las nubes está cubierto a la vista de un observador. La nubosidad se expresa en octas, consiste en dividir el espectro visible del cielo en ocho partes, según la cantidad de partes que aparecen tapadas por las nubes, es el grado de nubosidad. Cero octas (0/8) es un cielo completamente despejado, ocho octas (8/8) es un cielo totalmente cubierto.

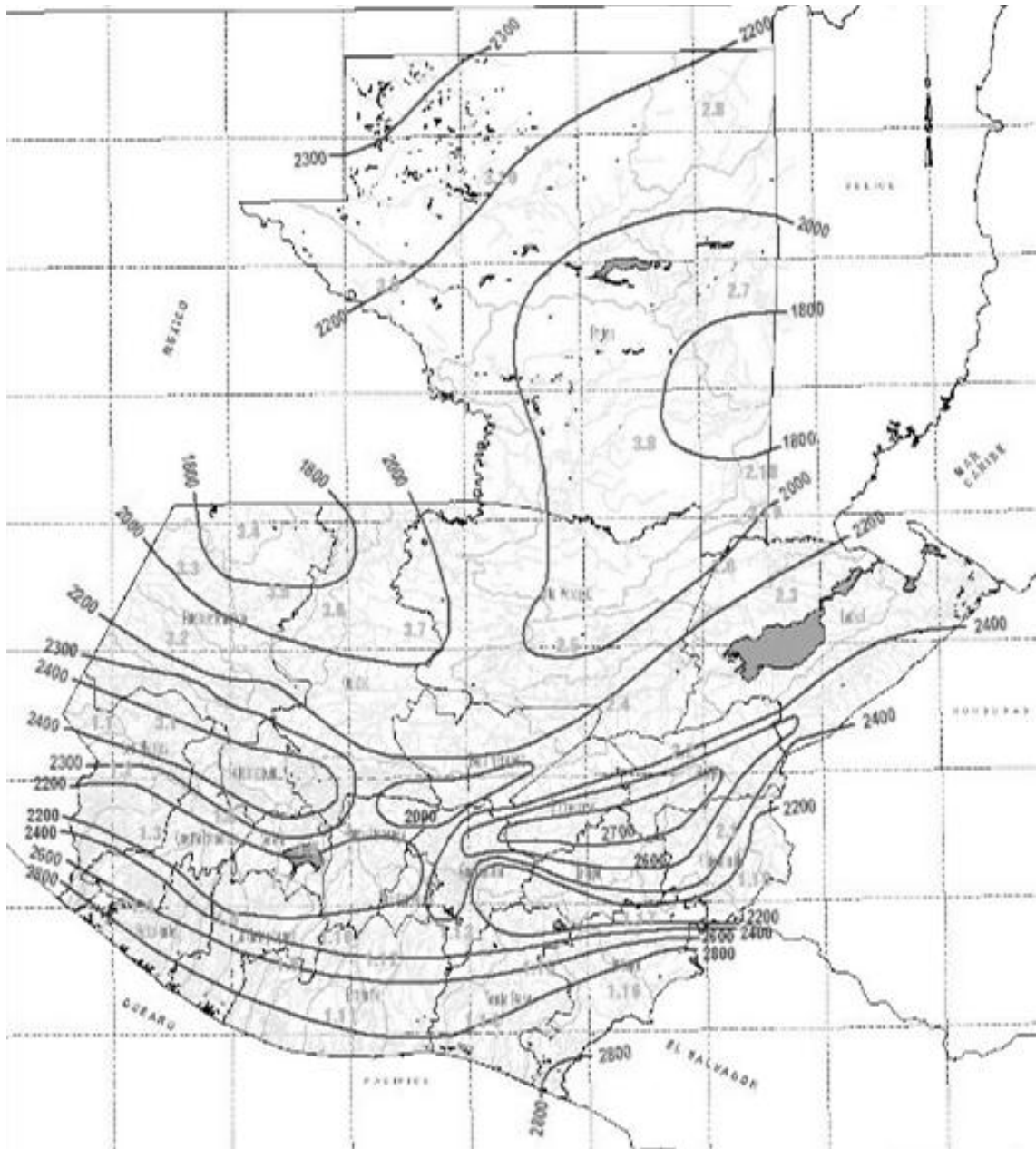
De la tabla XII, se obtiene que el grado de nubosidad en época lluviosa para el área de Puerto Barrios sea 6 octas y 5 para época seca. Los anteriores valores se pueden utilizar como representativos de la zona, sin embargo, existe un plano de isohelias que representa las distintas zonas del país, donde es fácil ubicar una en específico y determinar el valor de nubosidad predominante en ella.

Tabla XII. **Estación meteorológica Puerto Barrios. Promedios mensuales y anuales de nubosidad en octas**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
1990	5	4	5	5	5	7	6	6	7	6	7	6	<b>6</b>
1991	5	4	2	4	6	6	6	6	7	5	6	4	<b>5</b>
1992	5	4	4	4	5	6	6	7	6	8	5	5	<b>5</b>
1993	5	4	4	4	5	6	6	7	6	8	5	5	<b>5</b>
1994	4	3	3	4	5	5	6	6	6	4	5	5	<b>5</b>
1995	4	4	3	4	4	6	6	5	7	---	---	---	<b>5</b>
1996	4	5	3	5	5	---	6	5	5	6	6	5	<b>5</b>
1997	4	4	3	4	5	6	6	6	5	5	---	5	<b>5</b>
1998	4	2	4	3	4	5	6	6	6	7	6	6	<b>5</b>
1999	5	4	3	3	4	7	8	7	8	7	8	6	<b>6</b>
2000	7	4	3	4	7	8	6	7	6	8	4	8	<b>6</b>
2001	8	6	3	4	6	5	5	7	7	7	8	7	<b>6</b>
2002	6	8	2	3	7	7	8	5	6	6	5	7	<b>6</b>
2003	8	2	1	2	7	7	6	4	5	7	---	---	<b>5</b>
2004	6	8	6	6	6	7	7	6	6	7	7	8	<b>7</b>
2005	6	2	8	5	7	---	8	8	7	---	8	8	<b>7</b>
2006	8	8	3	5	6	8	8	8	7	8	8	8	<b>7</b>
2007	8	4	8	5	6	6	7	7	7	7	7	4	<b>6</b>
2008	5	4	4	5	6	8	8	8	7	8	1	6	<b>6</b>
2009	8	5	3	4	6	5	6	6	6	4	6	4	<b>5</b>
2010	5	6	8	5	6	5	7	---	---	---	---	---	---

Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2016).

Figura 14. Heliofanía promedio de horas de brillo solar

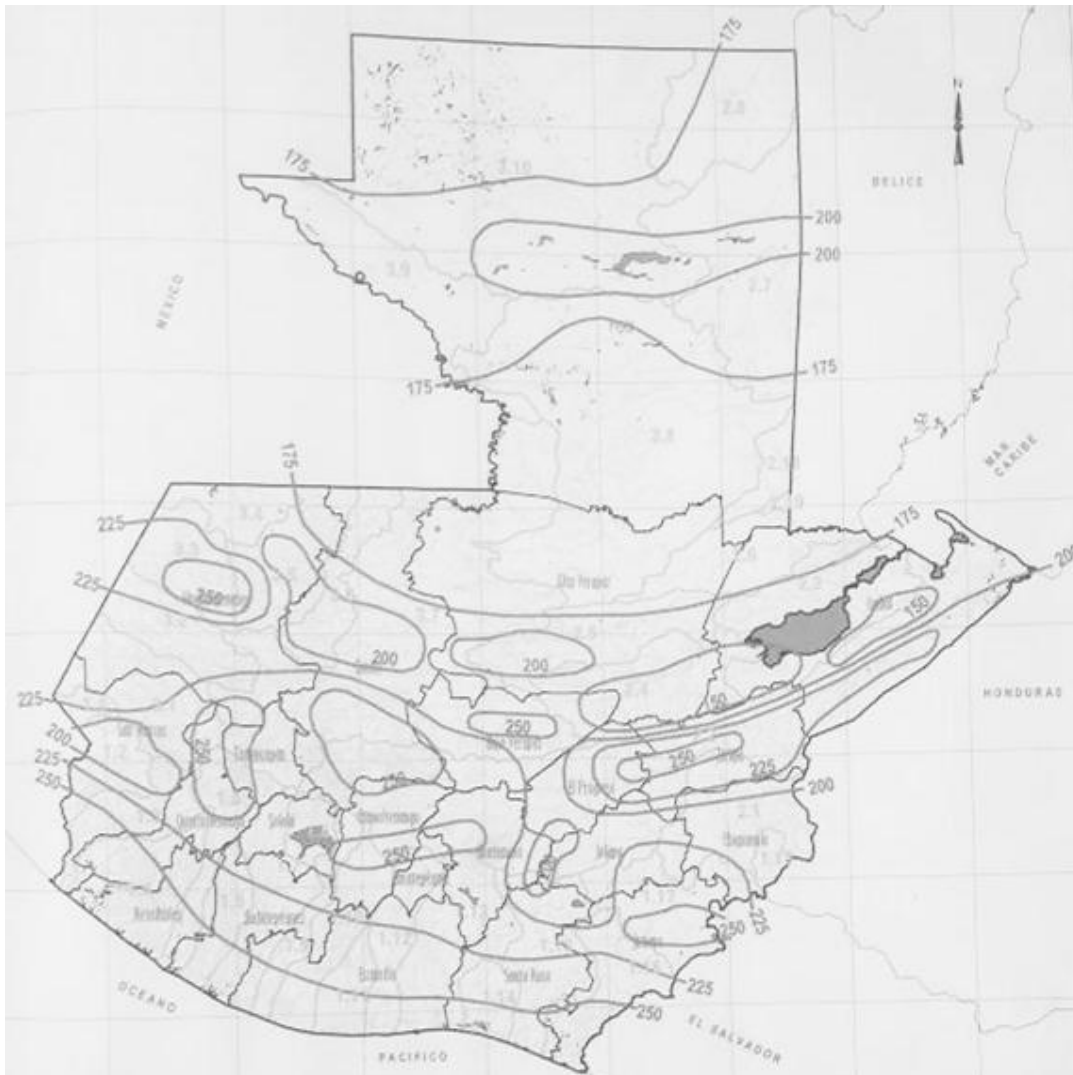


Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2003).

### 4.2.1.3. Insolación y radiación

En la figura 15, se observa que la aldea Sarranx se encuentra muy próxima a la línea de incidencia de 175 W/m<sup>2</sup>, por lo que se tomará ese valor como representativo en el área de emplazamiento de los paneles.

Figura 15. Radiación solar promedio anual



Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2003).

#### **4.2.2. Aspectos físicos**

Se analiza la ubicación de la comunidad respecto al resto de infraestructura eléctrica existente en la zona.

##### **4.2.2.1. Infraestructura eléctrica existente**

La aldea Searranx se encuentra a 23,1 km de la aldea Chinasejal, lugar donde se encuentra el último poste con energía eléctrica de DEORSA, con voltaje de operación 19.9 KV, monofásicos (19P 0 254 867 UTM 1 751 299). Al considerar electrificar Searranx con líneas y redes de distribución como sucede convencionalmente, éste sería el poste del cual se derivaría la extensión de línea necesaria para llegar a la aldea. Sin embargo, este tramo de línea desde la línea troncal hasta el poste en cuestión, tiene 13.3 km, de longitud y conecta varias comunidades en su trayecto que disminuyen su capacidad de transporte, esta situación hace poco probable que autoricen la extensión de línea sin realizarle trabajos de readecuación y repotenciación; en consecuencia, el incremento a los costos hace inviable este método para electrificar la comunidad (ver Anexo X).

#### **4.2.3. Aspectos administrativos**

Se analizan los requerimientos a cumplir.

##### **4.2.3.1. Proceso de solicitud de proyecto ante INDE**

Cuando un comité se presenta para gestionar un proyecto de introducción de electricidad en el INDE, éste hace de su conocimiento que el trámite y

estudios no requieren ningún pago en la institución, por tal razón, no deberán realizar desembolso alguno.

Así también, hace del conocimiento de los interesados que cualquier información del avance en la gestión de las solicitudes, únicamente será proporcionada a los integrantes del comité, COCODE, Asociación Legalizada, Municipalidad u otro ente legalmente establecido, siempre que presenten los documentos de acreditación.

En el mes de diciembre de 2013, el INDE emitió el normativo número 56 para regular sistemas aislados con recursos renovables para electrificación en zonas aisladas, cuyo objeto es “regular el mecanismo de incentivos para los sistemas aislados utilizando fuentes renovables de energía, el cual considera la calificación y selección de comunidades eléctricamente aisladas, así como el diseño, instalación, operación, programas de mantenimiento y administración financiera de los sistemas aislados.” (Instituto Nacional de Electrificación, 2013).

#### **4.2.3.2. Requisitos del INDE para aprobación de proyectos**

- Solicitud de la comunidad: las solicitudes de proyecto de introducción de energía eléctrica se deben acompañar de los siguientes documentos:
  - Solicitud dirigida al Gerente de Electrificación Rural y Obras firmada por el Comité, COCODE, asociación legalizada, Municipalidad o cualquier otro ente legalmente establecido.
  - Listado de beneficiarios con nombre y número de DPI, se deben incluir solamente aquellos que tengan viviendas construidas.

- Croquis de la comunidad.
- Evaluación técnica socioeconómica y financiera: Consiste en el estudio de las características técnicas, sociales, económicas y financieras del proyecto para cada comunidad interesada que permita establecer la viabilidad del uso de un sistema aislado.
- Requisitos para calificar: Las comunidades interesadas en participar en el programa de electrificación rural con sistemas aislados, deberán cumplir con los siguientes requisitos:
  - Organización comunitaria: deberá integrarse por los propietarios o poseedores de inmuebles ubicados en la comunidad interesada y manifestar su disposición a organizarse legamente en Asociación Comunitaria.
  - Solicitud: las comunidades interesadas en participar deben por medio de su representante, presentar lleno el formulario de solicitud de calificación proporcionado por el INDE.
  - Aceptación de participación: las comunidades solicitantes, deberán aprobar y manifestar su anuencia en permitir las evaluaciones técnicas, socioeconómicas y financieras necesarias para calificar el proyecto, asimismo, deberán cumplir con la entrega de los formularios respectivos suministrados por INDE.
  - Compromisos: las comunidades interesadas deberán cumplir con todos los requisitos y compromisos requeridos por INDE para la entrega de los equipos de sistemas aislados.



- Informe favorable de evaluación socioeconómica del Ministerio de Energía y Minas (ver Anexo VI)
- Estudio de impacto ambiental
- Estudio y presupuesto de la obra a elaborar por el INDE
- Capacidad financiera del INDE para ejecutar el proyecto
- Aprobación Comité Ejecutivo de selección de comunidades
- Implementación del proyecto
- Recepción del equipo por los comunitarios por medio de la certificación correspondiente

#### **4.2.3.3. Obligaciones de comunidad beneficiada**

Están obligadas a aceptar y cumplir las responsabilidades que se establezcan en el Convenio de Donación que se suscriba entre ellas y el INDE, deberán velar por las buenas prácticas de operación y mantenimiento de los equipos y materiales para su sostenibilidad.

La asociación comunitaria será la responsable de la operación, mantenimiento y administración de los sistemas aislados.

Cuando un tercero se encargue de la construcción y/o instalación, operación y mantenimiento, se deberá suscribir entre la asociación comunitaria y éste, un contrato de operación y mantenimiento por el plazo mínimo de diez años y será facultado para cobrar el monto de la tarifa que se establezca.

Los fondos recaudados por concepto de tarifas en sistemas aislados, serán exclusivamente para el pago de gastos derivados de la realización de mantenimiento programados, reparaciones, sustituciones por daños o fallas y sustitución por obsolescencia de los equipos.

La asociación comunitaria responsable de la recaudación de los fondos, deberá depositar en un banco del sistema los fondos recaudados de forma mensual, en su defecto, el tercero encargado de la construcción/instalación, operación y el mantenimiento deberá suscribir un contrato con la asociación comunitaria por un plazo de 10 años prorrogables. De presentarse la última situación, éste será responsable del recaudo de la tarifa.

### **4.3. Análisis operativo**

Al visitar la comunidad se pone en evidencia la necesidad que tienen de contar con energía eléctrica para iluminar por las noches las viviendas y poder conectar al menos un radio que les permita saber que sucede en el país.

Una ventaja de la comunidad para iniciar el proceso de solicitud de energía eléctrica, es contar con un COCODE, con experiencia gestionado otros proyectos de desarrollo que les permite conocer procedimientos de organización y gestión ante las entidades públicas y privadas.

Con ayuda de los dirigentes comunitarios se hizo el levantamiento del croquis referencial de ubicación de viviendas de la aldea (ver Anexo X), este croquis en particular incluye la ubicación con coordenadas UTM, para evitar que técnicos del INDE, se trasladen a realizar el levantamiento, lo que reduce el tiempo de resolución de la solicitud.

De la investigación realizada en el INDE, “El señor Meléndez, Jefe de Dicoder, indicó recientemente que las encuestas socioeconómicas que utilizan para recolectar información en las comunidades, determinan la factibilidad de beneficiarlas con los proyectos de energía eléctrica que se desarrollan” (M. Meléndez, comunicación personal, 22 de marzo de 2016).

Las encuestas realizadas por el INDE (ver Anexo VII), son distintas a las que realiza el Ministerio de Energía y Minas que facultan al INDE para realizar los gastos o inversiones de los diferentes proyectos de electrificación rural.

Recientemente, personeros de la División Coordinadora de Electrificación Rural, Dicoder, de Gerencia de Electrificación Rural y Obras del INDE, enviaron un promotor social a la aldea Searranx para un primer acercamiento con los miembros de la comunidad y realizar una inspección del sitio. En esta oportunidad los miembros del COCODE, manifestaron su interés y compromiso para gestionar a la brevedad posible la solicitud de introducción de energía eléctrica y adjuntar la documentación correspondiente.

#### **4.4. Análisis técnico**

Consiste en la determinación del consumo de energía eléctrica por vivienda y el tiempo de carga de la batería con las condiciones de luz solar predominantes en la zona.

##### **4.4.1. Consumo eléctrico por vivienda**

El INDE, considera dos consumos típicos que deben satisfacer la instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales para sistemas aislados.

Tabla XIII. Tipo I, **Consumo teórico por vivienda, PER-INDE**

Descripción	Cantidad	Equipo	Consumo Watts	Horas de uso/día	Consumo W h/día
Cocina	1	Bombilla LED	5	2	10
Habitación/área interior	2	Bombilla LED	5	2	20
Corredor	1	Bombilla LED	5	3	15
Otros	1	Radio	38	3	114
	1	Cargador celular	15	1	15
<b>Consumo de energía</b>			<b>68</b>		<b>174</b>

Fuente: Consumo teórico por vivienda, (García, M. 2016).

En el sistema Tipo I, el consumo se reduce principalmente en iluminación y dos equipos eléctricos para cubrir las necesidades básicas de las familias.

Tabla XIV. Tipo II, **Consumo teórico por salón comunal, PER-INDE**

Descripción	Cantidad	Equipo	Consumo Watts	Horas de uso/día	Consumo Wh/día
Cocina	1	Bombilla LED	5	2	10
Habitación / área interior	2	Bombilla LED	5	1.5	15
Corredor	1	Bombilla LED	5	1	5
Otros	1	Televisor LED, 32"	136	2	272
	1	Radio	38	2	76
	1	Cargador celular	15	1	15
<b>Consumo de energía</b>			<b>204</b>		<b>393</b>

Fuente: Consumo teórico por vivienda, (García, M. 2016).

Para el usuario Tipo II, principalmente referenciado al salón de usos múltiples o de reuniones de la aldea.

Entre las características que poseen los equipos que instala el INDE, se tienen:

- Panel fotovoltaico
  - 150 Watts mínimo
  - 12 VCD mínimo
  - Celdas de Silicio monocristalino o policristalino
  - Marco robusto de caja de aluminio anodizado
  - Caja de conexiones a prueba de agua
  - Irradiación de 1 000 W/m<sup>2</sup>
  - Temperatura 25°C
  - Pérdida del panel 10%
  
- Inversor AC-DC
  - Capacidad de 500-700 Watts
  - Voltaje de entrada 12 VCD
  - Voltaje de salida es 120 VCA, 60 Hz
  - Carcaza fácilmente conectionada a tierra
  - Eficiencia máxima no menor del 90%
  - 100% protegido contra cortocircuitos
  
- Controlador de carga
  - 10-12 Amperios
  - 12 VCD
  - Apto para conectar uno o más paneles
  - Detección automática de voltaje, regulación de tensión y corriente

- Que pueda usarse con baterías con y libre de mantenimiento
  - Indicador LED de estado de carga de batería y otros parámetros
  - Protección de descarga profunda (LVD) a 11,2 VCD, Voltaje final de carga de 13,97 VCD
  - Protección contra corriente inversa, contra temperatura y sobrecarga
  - Protección de polaridad inversa en la carga, en el panel y en la batería
  - Fusible de protección fácil de reemplazar
- Batería de aplicación fotovoltaica
    - AGM o de gel sellada
    - 12 VCD
    - 100-150 Ah, 20 horas mínimo
    - 100% libre de mantenimiento
    - Especificaciones para uso fotovoltaico
    - 1 000 ciclos a un 50% de descarga
- Luminarias compactas LED de alta eficiencia
    - 12 VCD
    - 5 Watts mínimo para interior, luz día
    - 9 Watts mínimo para exterior, luz día
    - Vida útil de 50 000 horas mínimo
    - Rendimiento luminoso 400 lúmenes mínimo para interiores
    - Protección contra polaridad inversa
    - Protección contra cortocircuito
    - Rosca E27

Es importante indicar que para los proyectos el INDE considera que los equipos deben tener autonomía de suministro de energía por 3 días.

El INDE a través del PMER erogó un monto de Q2 067 948,17, para la instalación de 185 sistemas fotovoltaicos en la ejecución del plan piloto de Uaxactún (ver Anexo II). De estos valores se obtiene un costo promedio por equipo instalado de Q11 178,10.

Al aplicar el valor medio obtenido anteriormente a las 98 instalaciones consideradas, se requiere un monto de Q1 095 453,80 aproximadamente para desarrollar el proyecto. Monto del cual será cubierto a cabalidad por el INDE y no representará inversión por parte de los comunitarios.

#### **4.4.2. Consumo eléctrico real**

Éste se obtiene de sumar el producto de la potencia de cada aparato por el tiempo diario que se utiliza. Es recomendable que los consumos de corriente directa y alterna se consideren separadamente porque las pérdidas que los afectan son distintas.

Energía real:

$$E_{elec} = ( E_{tcc} / N_b ) + ( E_{tca} / N_{inv} )$$

En donde:

$E_{elec}$  = energía real necesaria (Wh/día)

$E_{tcc}$  = carga diaria en corriente continua (Wh/día)

$E_{tca}$  = carga diaria en corriente alterna (Wh/día)

Nb = eficiencia de carga y descarga de la batería  
Ninv = eficiencia media diaria del inversor (decimal)

Para el diseño de ambos sistemas se utilizan valores de Nb = 0,90 y Ninv = 0,90, datos tomados de las especificaciones del panel fotovoltaico y del inversor. La eficiencia de carga es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la que efectivamente se almacena, un valor típico en las baterías gel es 0,88.

Con la información anterior, se obtiene:

Tipo I:

Etcc = Consumo eléctrico CD = 45 Wh/día  
Etca = Consumo eléctrico CA = 129 Wh/día

Tipo II:

Etcc = Consumo eléctrico CD = 30 Wh/día  
Etca = Consumo eléctrico CA = 363 Wh/día

Sustituyendo datos:

Tipo I:

$E_{elec} = (Etcc / Nb) + (Etca / Ninv)$   
 $E_{elec} = (45 \text{ Wh/día} / 0,88) + (129 \text{ Wh/día} / 0,9)$   
 $E_{elec} = 51,14 \text{ Wh/día} + 143,33 \text{ Wh/día}$   
 $E_{elec} = 194,47 \text{ Wh/día}$



Tipo II:

$$E_{elec} = (E_{tcc} / N_b) + (E_{tca} / N_{inv})$$

$$E_{elec} = (30 \text{ Wh/día} / 0,88) + (363 \text{ Wh/día} / 0,9)$$

$$E_{elec} = 34,09 \text{ Wh/día} + 403,33 \text{ Wh/día}$$

$$E_{elec} = 437,42 \text{ Wh/día}$$

#### 4.4.3. Cálculo del tiempo de carga de la batería

Para establecer el tiempo de carga de la batería se consideró la capacidad amperios hora de la batería y la capacidad de suministro de amperios hora del panel solar. No se descontaron los consumos que tendrán las cargas conectadas al sistema durante el tiempo de carga de la batería. Es importante indicar que no se han considerado otras variables que afectan la eficiencia del sistema por considerar que su incidencia no es significativa.

Con la información anterior y los datos proporcionados por el INSIVUMEH acerca de la disponibilidad de luz solar en la zona, se procede:

- Panel fotovoltaico
  - 150 Watts mínimo
  - 12 VCD mínimo
  
- Batería de aplicación fotovoltaica
  - 12 VCD
  - 100-150 AH@20h mínimo

En corriente continua (CC) la potencia eléctrica desarrollada en un instante por un dispositivo de dos terminales, corresponde al producto de la diferencia de potencial entre los terminales y la intensidad de corriente que pasa por el dispositivo.

$$P = V \cdot I$$

En donde:

I = valor instantáneo de la intensidad de corriente (A)

V = valor instantáneo de voltaje (V)

P = potencia instantánea (W)

Sin considerar otros equipos conectados durante la carga de batería:

$$I_{\text{panel}} = (150 \text{ W}) / (12 \text{ V})$$

$$I_{\text{panel}} = 12,5 \text{ A/h}$$

Del valor de 2 100 horas de exposición de luz solar directa al año descrito anteriormente, resultan 5,83 horas de exposición solar directa al día.

Entonces el panel puede suministrar:

$$(12,5 \text{ A/h}) \times (5,83 \text{ h/día}) = 72,9 \text{ A/día}$$

Con el dato anterior se calculan los días que necesita la batería para cargarse completamente:

$$\text{Días requeridos carga completa} = (150 \text{ A} / 72,9 \text{ A/día})$$

$$\text{Días requeridos carga completa} = 2,1 \text{ día}$$

El tiempo necesario para cargar la batería de 150 Ah de capacidad, con un panel solar de 150 W y 5,83 horas de luz solar al día, requiere un total de 2,1 días para cargarse totalmente, en el entendido que no hay fugas en la batería y que se cargará desde cero.

#### 4.5. Estimación del costo de operación y mantenimiento

A continuación se calcula el costo de operación y mantenimiento de los equipos con la situación actual y el proyecto propuesto.

##### 4.5.1. Costos de situación sin proyecto

Consiste en la estimación del gasto promedio familiar por la compra de combustible, candelas, baterías, entre otros para suplir la necesidad básica de energía actual en las viviendas.

Tabla XV. Costo de la energía mensual por familia

Descripción	Fuente actual de energía	Unidad de medida	Unidades consumidas mensuales	Precio unitario Q	Gasto mensual Q
Iluminación	Kerosene	Galón	0,75	24,00	18,00
	Velas	Unidad	8	2,00	16,00
	Ocote	Unidad	10	0,50	5,00
Información, esparcimiento (radio, TV, teléfono)	Baterías	Carga	1	20,00	20,00
	Pilas	Unidad	4	2,50	10,00
<b>Total</b>					<b>69,00</b>

Fuente: elaboración propia, (2016).

De la tabla anterior se obtiene un costo mensual por familia de Q69,00 de donde resulta un costo anual de Q828,00.

#### **4.5.2. Costos de situación con proyecto**

Según García, M. (2016), las fallas técnicas más comunes en los equipos solares de electrificación rural, generalmente, son controlables de manera fácil siempre que los equipos instalados sean de calidad y se cuente con las garantías por la empresa adjudicada para realizar el proyecto y el respaldo de los fabricantes de los componentes. Lo anterior, contribuye a que los proyectos de electrificación rural con paneles solares tengan un bajo índice de fallas técnicas y al presentarse sean de pronta solución.

En la actualidad la mayor parte de componentes eléctricos y electrónicos se encuentran certificados por instituciones de prestigio (ISO, IEEE, IEC, entre otras), las cuales garantizan su perfecto funcionamiento. Comúnmente, los proyectos de electrificación rural son adjudicados a empresas ajenas a las comunidades beneficiadas, las cuales llevan técnicos de otros lugares a realizar los trabajos de construcción e instalación y al terminar de instalar los equipos se retiran del área, muchas veces sin capacitar a los usuarios del uso correcto de los equipos, de donde la mayor incidencia de fallas son atribuibles a la mala operación de los equipos.

Es de suponer que después de algunos años de funcionar los equipos empiecen a fallar, principalmente cuando las baterías lleguen al fin de su vida útil (3 a 5 años). Lo perjudicial sería el abandono de los equipos por falta de recursos de los afectados para adquirir una nueva batería y para reparar los eventuales daños ocasionados a los componentes.

Por lo anterior, al término de los primeros tres años de uso de las baterías se debe contar con recursos que permitan su reemplazo, por lo que cada familia deberá aportar mensualmente un monto que permita sustituirla en el momento

de la falla. El cálculo de este valor y la administración de los recursos es responsabilidad del COCODE o la asociación solidaria, condición que establece el INDE para el suministro de los equipos.

En el mercado guatemalteco el costo de las baterías equivalentes a las instaladas por el INDE es Q2 300,00 y las bombillas LED de Q35,00 cada una.

Para establecer la cuota mensual fue necesario considerar, la sumatoria de los valores de reemplazo del equipo (baterías y bombillas) y dividirlo entre los primeros 36 meses de operación. Además, se consideró que por familia debería tener un fondo adicional de Q150,00 para cubrir eventualidades; de donde, al considerar el aporte total de las familias el monto mensual cobra valores importantes, que a su vez al finalizar los 36 meses se contará con el recurso necesario.

Tabla XVI. **Aporte familiar mensual para gastos de reemplazo de batería, bombillas y otros gastos menores**

Descripción	Cantidad	Costo Q	Total Q	Meses aportes	Aporte/mes Q	Aporte 36 m
Batería 12V, especificación PER	1	2 300,00	2 300,00	36	63,89	Q2 891,82*
Bombilla LED, 12 V, 5 Watts,	4	35,00	140,00	36	3,89	
Otros	1	150,00	150,00	36	4,17	
<b>Total</b>			<b>2 590,00</b>		<b>71,94</b>	

\*Incluye intereses capitalización trimestral, tasa pasiva Banco de Guatemala 5,48%, (2016).

Fuente: elaboración propia, (2016).

Tabla XVII. **Aporte mensual total por la comunidad**

Descripción	Cantidad	Costo Q	Total Q	Meses aportes	Aporte/mes Q	Aporte final / 36 m
Batería 12 V, especificaciones PER	98	2 300,00	225 400,00	36	6 261,11	Q283 397,93*
Bombilla LED, 12 V, 5 Watts,	392	35,00	13 720,00	36	381,11	
Otros	98	150,00	14 700,00	36	408,33	
<b>Total</b>			<b>253 820,00</b>		<b>7 050,56</b>	

\*Incluye intereses capitalización trimestral, tasa pasiva Banco de Guatemala 5,48%, (2016).

Fuente: elaboración propia, (2016).

Es importante indicar que durante los primeros 36 meses de operación del proyecto, la batería y los equipos gozaran de garantía por cualquier daño o desperfecto de fábrica. Las bombillas están diseñadas según las especificaciones para 45 000 horas de uso, con un estimado de 3 horas diarias de uso, tendrán una vida útil de 41 años aproximadamente. Sin embargo, se consideró que al cabo de los tres primeros años ya se deba contar con recursos para cambiar las cuatro bombillas instaladas en cada casa.



## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la primera acción de acercamiento entre los dirigentes de la comunidad y el INDE, se sostuvo una conversación con Meléndez (Meléndez, M. 2016) y los señores miembros del COCODE. En esa oportunidad les indico los procedimientos y compromisos que tendrán al ser responsables del seguimiento de la solicitud del proyecto. Ante esta situación, se agilizaron los estudios y revisiones de documentos obteniéndose el listado de interesados con Número de Identificación Personal, DPI y el croquis de ubicación de las viviendas con sus respectivas coordenadas UTM (ver Anexo X).

El croquis evidencia un alto grado de dispersión en las viviendas, aunado a lo distante que están del último poste con energía eléctrica, lo que confirma la necesidad de electrificar Searranx por sistemas aislados.

En capítulos anteriores se indicó que únicamente 98 casas están en condiciones de beneficiarse con paneles solares, se debe a que las restantes 19 son construcciones provisionales susceptibles de ser removidas, en consecuencia los equipos estarían sujetos a trasladarse de su ubicación original y quedar inclusive fuera del control del COCODE.

En el año 2016, las familias gastan alrededor de Q69,00 mensuales para iluminarse por las noches, dotarse de baterías para iluminación con lámparas de mano y en algunos casos escuchar la radio, (ver tabla XV). Además, se calculó que se requiere una cuota mensual de Q72,00 por familia para cubrir los costos de mantenimiento y sustitución de la batería al cabo de tres años de uso (ver tabla XVI). Se puede observar una diferencia de Q3,00 entre el gasto de



insumos y la cuota mensual por reemplazo y mantenimiento, situación que no representa un valor significativo si se considera que las familias dejarán de estar expuestas a enfermedades respiratorias por humo, no dependerán de combustibles y disminuye el riesgo de incendios en las viviendas, contarán con más tiempo para escuchar radio y poder cargar los teléfonos celulares. En consecuencia, se considera que las familias tienen capacidad de pago de la cuota mensual calculada y los beneficios obtenidos justifican el incremento de Q3,00 mensuales en los costos de mantenimiento.

El COCODE es el responsable de recaudar la cuota mensual por familia, la operación y mantenimiento de los equipos; para lo cual necesitarán disponer de una cuenta bancaria para depositar los fondos que serán de uso exclusivo del proyecto.

El cumplimiento efectivo de los compromisos descritos anteriormente, garantiza la sostenibilidad del proyecto al permitir disponer de fondos para el reemplazo de los equipos por daño u obsolescencia.

Con anterioridad, se calcularon 2 días para cargar la batería a plena carga después de haber sido descarga totalmente, con un panel de 150 W y 5.83 horas de luz solar al día. Sin embargo, se debe indicar a los usuarios que dejar que las baterías se descarguen completamente, reduce su vida útil. Entre las especificaciones solicitadas por el INDE a los contratistas, se encuentra que la batería debe tener capacidad de soportar al menos 1 000 descargas completas sin sufrir daños. Lo anterior, permite estimar 2,9 años de operación de la batería sin mayores inconvenientes.

Con la información obtenida de temperatura media 26,4°C, nubosidad 7 octas, brillo solar 6 horas por día, insolación 175 Watts/m<sup>2</sup>; se estableció que

las células del panel fotovoltaico son capaces de generar una corriente a una determinada tensión, capaz de suministrar la potencia necesaria para cubrir la demanda por vivienda (69 W), en las condiciones de carga y operación establecidas.

Al no existir impedimentos técnicos y operativos que limiten el uso de paneles solares en la aldea Searranx, el COCODE deberá presentar la solicitud de inclusión al PER en la Gerencia de Electrificación Rural y Obras del INDE, con el croquis y el listado de interesados.

Con la gestión descrita en el párrafo anterior corresponderá al INDE, empezar el proceso de evaluación de la comunidad para determinar si procede su inclusión en los planes de electrificación que se encuentren en planificación o desarrollo.

Por la sencillez de las técnicas de recolección e interpretación de datos para determinar la viabilidad del presente trabajo, se podrá replicarse los procedimientos para estudios de otras comunidades aisladas carentes de energía eléctrica, que deseen ser consideradas en los planes de electrificación rural con fuentes de energía renovable.

Con este tipo de tecnología que permite dotar de energía eléctrica a las comunidades rurales más apartadas, los beneficios que se logran, repercuten socialmente de manera positiva incrementando la seguridad al mejorar la iluminación, amplia el acceso a medios de comunicación al prolongar el tiempo de uso de radios y teléfonos celulares, permite extender el tiempo de estudio de los niños en edad escolar y mejora las condiciones de salud, entre otros.



## CONCLUSIONES

1. Con base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se determinó que la aldea Serranx posee las cualidades físicas, económicas y cumple con los requisitos legales y administrativos que el INDE y el Ministerio de Energía y Minas solicitan para ser considerada en el Plan de Electrificación Rural con sistemas aislados. Por ello, se concluye que sí es factible satisfacer la necesidad energética de los hogares de la comunidad con sistemas fotovoltaicos.
2. La necesidad básica de energía eléctrica de los vecinos de Serranx, es similar a la necesidad de la vivienda típica considerada en el Plan de Electrificación Rural del INDE, que corresponde a tres ambientes, interior de la vivienda, cocina y en ciertos casos un pequeño corredor. De lo anterior se obtiene que la necesidad básica por vivienda es 68 Watts.
3. Por su ubicación geográfica cercana a la costa Atlántica, el promedio diario de exposición a la radiación solar (calor, luz y rayos ultravioleta) reportado por el INSIVUMEH para la zona en estudio es  $2\ 200\ \text{W/m}^2$ , lo que favorece la generación de energía eléctrica por medio de paneles solares.
4. Se estableció que la cuota mensual que debe aportar cada familia es Q72,00, valor que permite la sustitución de la batería y las 4 bombillas al término de los 36 meses de garantía de los equipos por el proveedor. Asimismo, deja un remanente de reserva para el pago de eventualidades o variaciones en el precio de la batería, aunado a los intereses

devengados en el período de aportación. Esta cuota es levemente mayor por Q3,00 al gasto promedio mensual que tienen las familias en productos sustitutos de la energía eléctrica, concluyéndose con esto que la cuota es susceptible de pago, por las familias favorecidas.

## RECOMENDACIONES

1. Promover el uso de energías renovables para electrificación rural en aquellas comunidades alejadas de la infraestructura eléctrica existente, a efecto de contribuir en el desarrollo de las mismas, ya que con electricidad se logra obtener comunicación, salud y seguridad.
2. Es importante que la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería implemente un laboratorio que incluya equipos de generación de energía por métodos renovables, como paneles solares y eólicos (a baja escala), para que los estudiantes aprendan su utilización y funcionamiento.
3. Evitar obstrucciones que generen sombras al panel solar, podando árboles, recoger hojas que se puedan depositar en él. Se debe evitar lanzar objetos que puedan dañar la superficie del panel. Así mismo, se debe limpiar periódicamente la superficie del panel con un paño no abrasivo y sin jabón.
4. Para evitar daños que reduzcan la vida útil del sistema fotovoltaico es importante no conectar cargas distintas a las consideradas en su diseño, por ejemplo: licuadoras, plancha de ropa o refrigeradora (ver Anexo VIII).



## BIBLIOGRAFÍA

1. Abella, M. (2015). *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. Recuperado el 15 de septiembre de 2015, de [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)
2. Administración del Mercado Mayorista (AMM). (2014). *Informe estadístico anual 2014*. p. 30.
3. Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). *Manuales sobre Energía Renovable: Solar Fotovoltaica*. 1era. edición. San José, Costa Rica. p. 42.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2010). Guatemala.
5. Congreso de la República de Guatemala. (15 de noviembre de 1996). *Ley General de Electricidad. Decreto No. 93-96*. Guatemala, Guatemala: Diario de Centro América.
6. Eléctrica, C. N. (2012). *Perspectivas de mediano plazo (2010-2015) para el suministro de electricidad del Sistema Eléctrico Nacional*, Guatemala.



7. Endecon Engineering. (2001). *A Guide to Photovoltaic (PV) System Design and Installation*. California Energy Commission. California, Estados Unidos. p. 40.
8. Estrada, O. (11 de 8 de 2013). deGuate.com. Recuperado el 30 de 3 de 2016, de deGuate.com:  
<http://www.deguate.com/artman/publish/noticias-guatemala/energia-solar-un-sueno-hecho-realidad-para-los-pobladores-de-uaxactun.shtml#.Vvxk0Zx97cs>
9. García, M. 2016. Frecuencia de incidencias o desperfectos en los sistemas solares autónomos de electrificación, INDE, PMER. (Comunicación personal).
10. Hankins, M. (2010). *Stand-Alone Solar Electric Systems: The Earthscan expert handbook for planning design and installation*. Ed. Earthscan. 1era. edición. Londres, Inglaterra. p. 232.
11. Instituto Nacional de Electrificación. (2013). *Normativo No. 56 para Regular Sistemas Aislados utilizando Recursos Renovables para Electrificación Rural en Zona Aisladas*. Guatemala.
12. Joaquín, C. (2008). *Tesis: Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural Buena Vista, San Marcos*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
13. Koberle, A. (2012). *Energizar a Guatemala: Propuesta de un plan de electricidad sostenible*. Guatemala: El Observador.

14. Kreider, J., Hoogendoorn, C., & Kreith, F. (1987). *SOLAR DESIGN: Components, Systems, Economics*. Editorial Hemispher Publishing Corporation.
15. Meléndez, M. (2016). Modelos de encuestas socioeconómicas de gerencia de Electrificación Rural y Obras, INDE. (Comunicación personal).
16. Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Informe: Índice de Cobertura Eléctrica 2015*. Guatemala: MEM.
17. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. (2015). *Estadísticas Energéticas Subsector Eléctrico 2014*. Guatemala.
18. Muñoz, D. (1988). *Tesis: Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
19. NRECA International. Ltd. (2012). *Primer Informe Plan Maestro de Electrificación Rural Guatemala*. Guatemala.
20. Ramírez, L. (2013). *Tesis: Diseño de la investigación del análisis de la viabilidad de la implementación de un sistema de generación híbrido utilizando energía renovable eólico y solar, para la población de la aldea San Clemente en el Municipio de Morazán, El Progreso*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

21. Wiles, J. (1996). *Sistemas de Energía Fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional: Prácticas Recomendadas*. The Photovoltaic Systems Assistance Center, Sandia National Laboratories. California, Estados Unidos. p. 100.

## ANEXOS

ANEXO I	
• Diagrama del Sistema Nacional Interconectado .....	71
ANEXO II	
• Detalle de concurso proyecto piloto Uaxactún .....	75
ANEXO III	
• Sumatoria de días con lluvia promedio anual .....	79
ANEXO IV	
• Isotermas de temperatura promedio anual .....	83
ANEXO V	
• Niveles de humedad relativa promedio anual .....	87
ANEXO VI	
• Descripción de informe socioeconómico del MEM .....	91
ANEXO VII	
• Tipos de boletas para encuestas del INDE .....,.....	95
○ Boleta 1, Información general de la comunidad,	
○ Boleta 2, Información socioeconómica,	
○ Boleta 3, Boleta de campo, sistemas aislados.	
ANEXO VIII	
• Manual de usuario .....	113
ANEXO IX	
• Croquis de ubicación de aldeas Searranx y Chinasejal (ubicación de ultimo poste energizado .....	123
ANEXO X	
• Croquis de ubicación de viviendas en la aldea Searranx.....	127

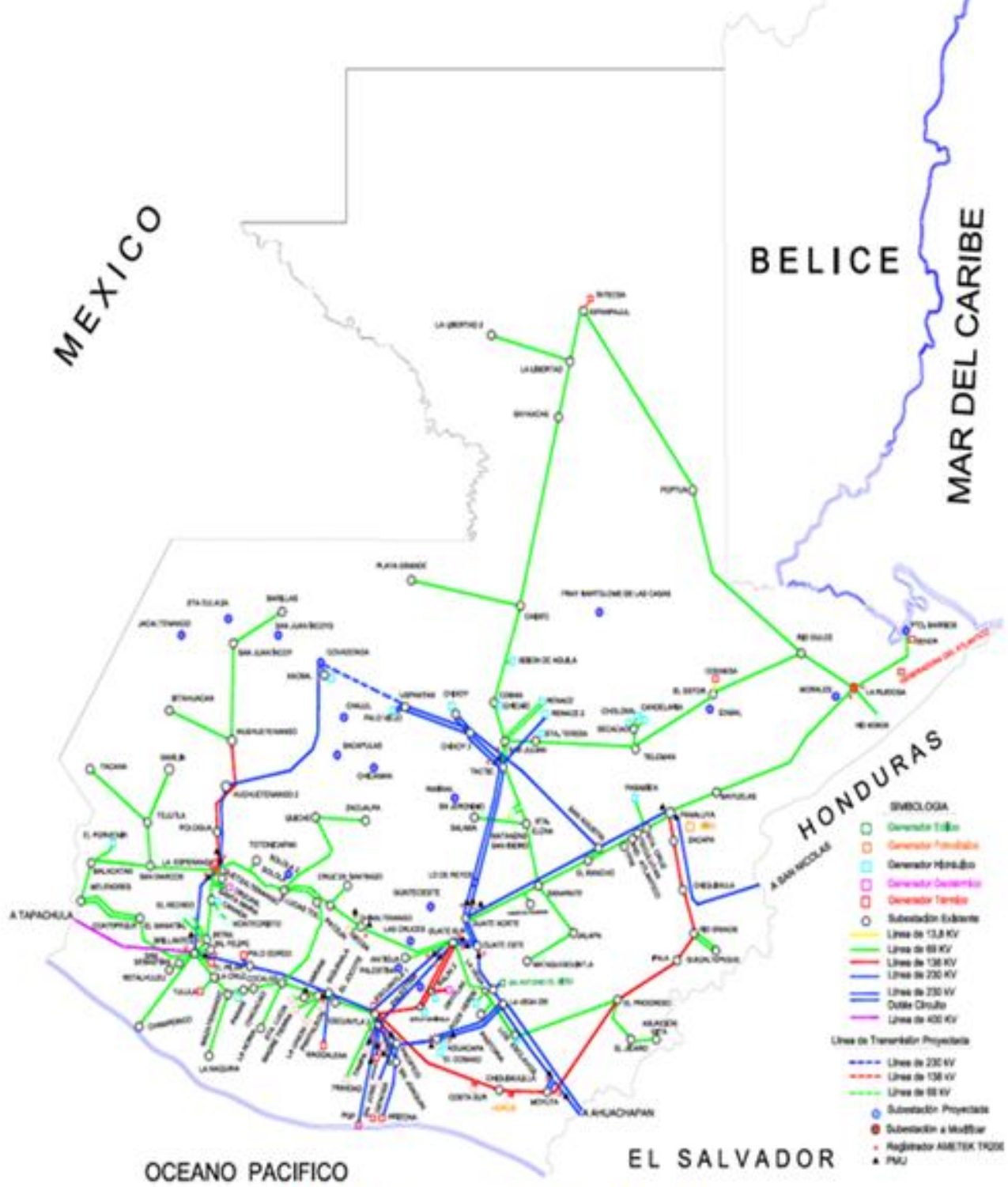


## **ANEXO I**

- Diagrama del Sistema Nacional Interconectado.



# SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO



Fuente: AMM, Información estadística, (2014)





## **ANEXO II**

- Detalle de concurso proyecto piloto Uaxactún



## Detalle de concurso

### Datos del Concurso

**NOG:** 2719967  
**Categoría:** Muebles y mobiliario de oficina  
**Descripción:** LPI ATGG PMER 01.2013 SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INDIVIDUALES EN LA COMUNIDAD DE UAXACTÚN, MUNICIPIO DE FLORES, DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA.  
**Modalidad:** Procedimientos regulados por el artículo 54 LCE  
**Tipo de concurso:** Público  
**Entidad:** INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN -INDE  
**Tipo de entidad:** Empresas Públicas (Nacionales y Municipales)  
**Unidad compradora:** GERENCIA SERVICIOS CORPORATIVOS  
**Fecha de publicación:** 07.junio.2013 Hora:08:46:35 a.m.  
**Fecha de presentación de ofertas:** 10.julio.2013 Hora:08:30:00 a.m.  
**Fecha de cierre de recepción de ofertas:** 10.julio.2013 Hora:09:00:00 a.m.  
**Recepción de ofertas:** Sólo en papel, Todas las ofertas deben recibirse en papel y no se permite recibirlas en forma electrónica.  
**Fecha de finalización:** 09.agosto.2013 Hora:09:35:46 a.m.  
**Estatus:** Terminado adjudicado

### Tipo de Anexos

+ Bases, especificaciones generales o t...

+ Resolución de aprobación de bases o j...

### Tipo de Producto

Nombre	Cantidad	Unidad de medida
LPI ATGG PMER 01.2013 SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INDIVIDUALES EN LA COMUNIDAD DE UAXACTÚN, MUNICIPIO DE FLORES, DEPARTAMENTO DE PETÉN, GUATEMALA.	185	UNIDAD

1 al 1 de 1 tipos de productos

Ir a la página: 1

### Proveedor Adjudicado

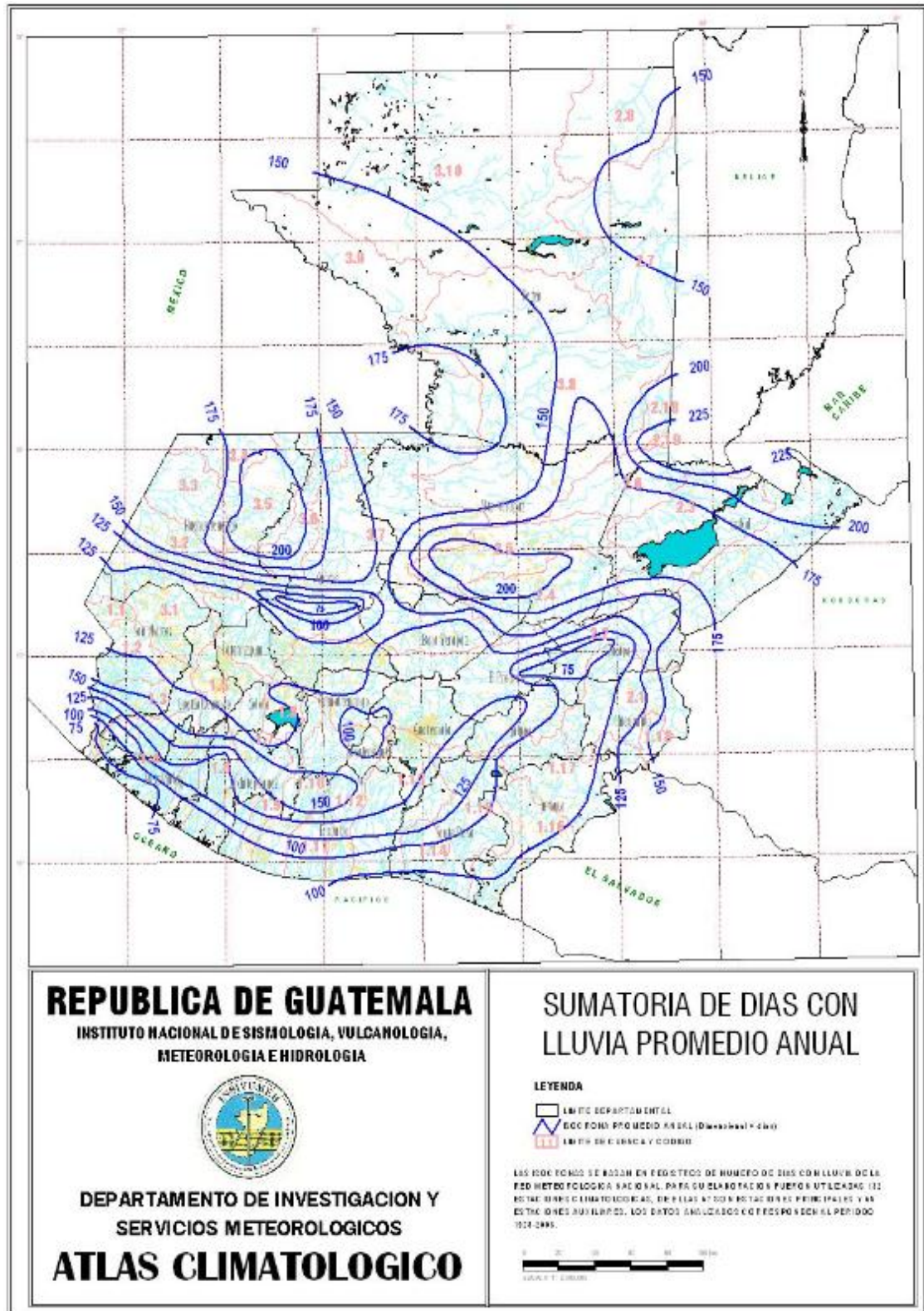
NIT o país	Nombre o razón social	Contrato	Monto (Q.) ▼
48490710	SJR ENTERPRISE, SOCIEDAD ANONIMA		Q2,067,948.17
Total			Q2,067,948.17



## **ANEXO III**

- Sumatoria de días con lluvia promedio anual.





Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2003).

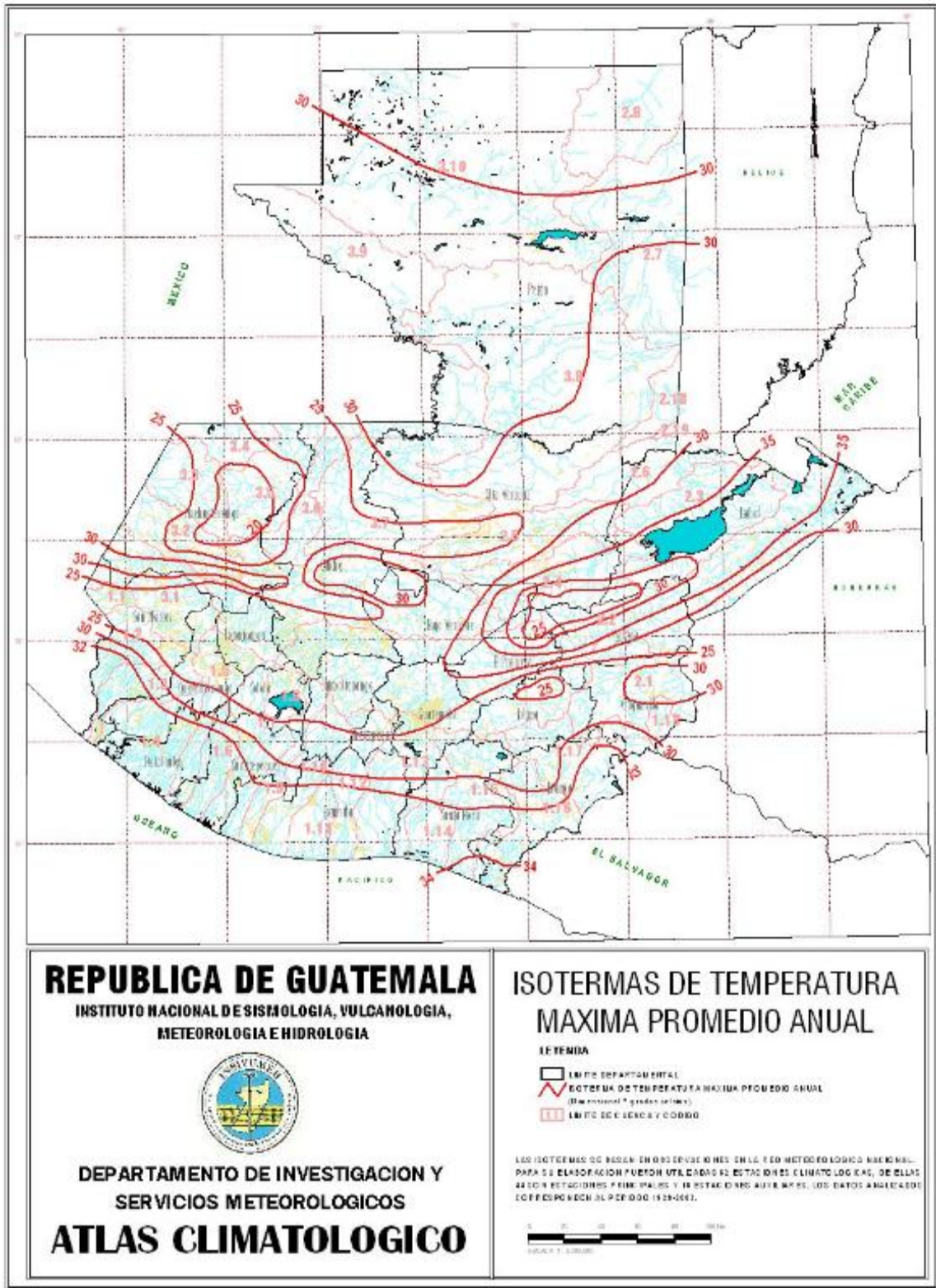




## **ANEXO III**

- Isotermas de temperatura promedio anual.





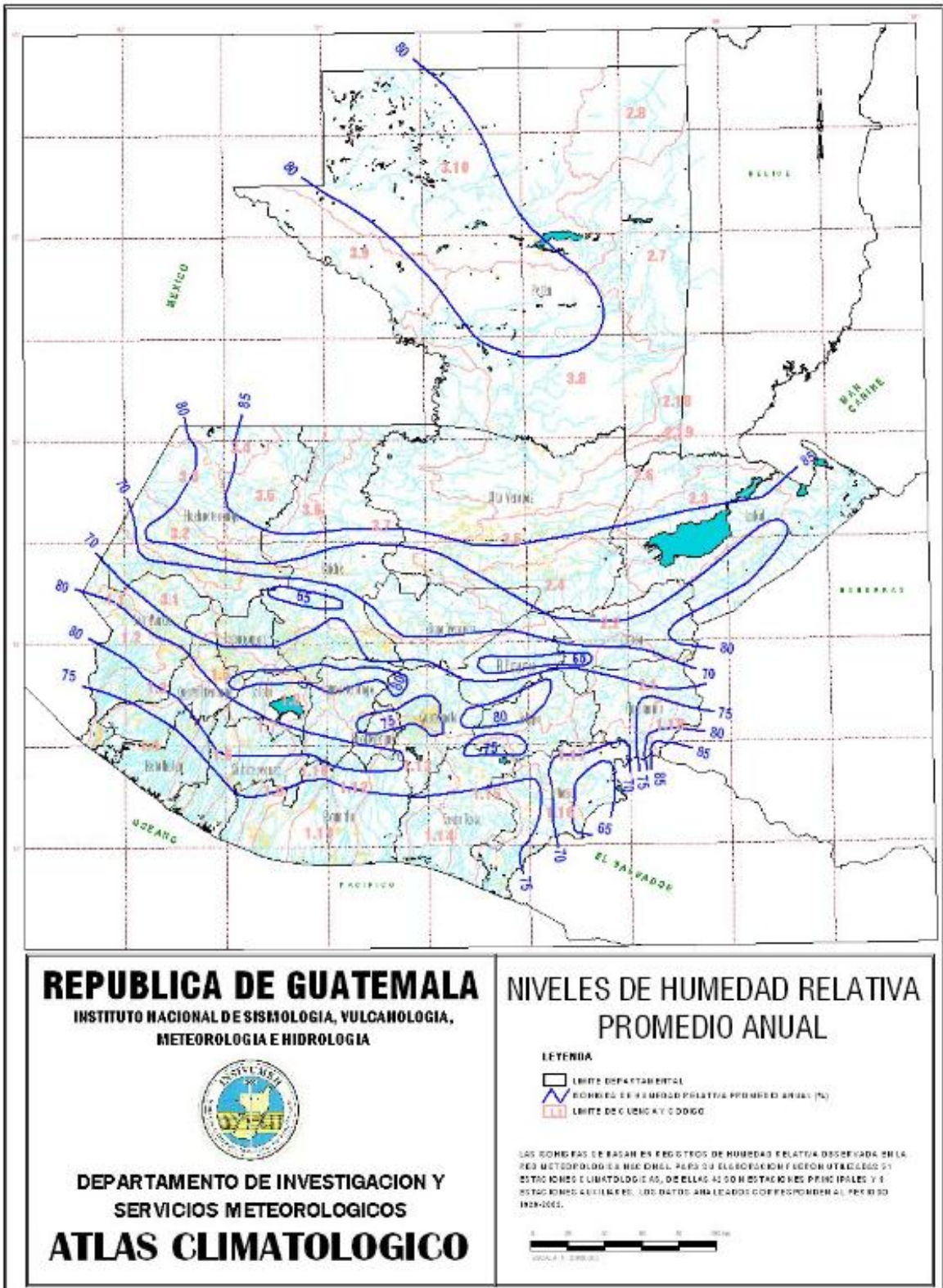
Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2003).



## **ANEXO IV**

- Niveles de humedad relativa promedio anual.





Fuente: INSIVUMEH, Atlas climatológico, departamento de investigación y servicios meteorológicos, (2003)





## **ANEXO V**

- Descripción de informe socioeconómico del MEM.



**EL INFORME DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICO o I.E.S.**

El Ministerio de Energía y Minas es la institución encargada de emitir el Informe de Evaluación Socioeconómica para la ejecución de proyectos de electrificación rural y para el efecto se basa en el artículo 47 de la Ley General de Electricidad que indica que 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.

La zona territorial delimitada a partir de los 200 metros permite que el Estado pueda hacer las inversiones necesarias para la ejecución de proyectos de electrificación rural y, generalmente, el Estado subsidia dichos proyectos empleando los recursos provenientes de fideicomisos, fondos propios, corrientes, préstamos, etc, que permitan beneficiar a los habitantes del país.

Para proyectos de introducción de energía eléctrica en el área rural de nuestro país, es entre otras instituciones, el ente ejecutor de los mismos; y normalmente es la institución que solicita al MEM la emisión del correspondiente informe de evaluación.

El Informe de Evaluación Socioeconómica-IES- es el documento que avala o faculta a INDE y otras instituciones del país como las Municipalidades, Concejos de Desarrollo y Fondos Sociales, a realizar los gastos o inversiones para los diferentes proyectos de electrificación rural.

Aparte de ello, el Informe de Evaluación Socioeconómico, para proyectos de introducción de energía eléctrica debe de considerar otros criterios como:

- a) Que la localidad se ubique en el área rural del país.
- b) Que la localidad se ubique fuera de los 200 metros de la zona obligatoria de las Distribuidoras.
- c) Que no haya aportaciones de otras entidades ni aportes en efectivo de la comunidad a la empresa distribuidora.
- d) Que no estén en ejecución (obra no contratada por ENERGUATE) o que no se hayan construido antes de la firma del Contrato de Fideicomiso del INDE (04/05/99).
- e) Que el beneficio no sea para particulares (fincas privadas) donde el suministro de energía eléctrica debe ser en condiciones libremente pactadas.
- f) Que los interesados no estén viviendo en colonias privadas (donde el propietario tiene el compromiso de suministrar el servicio).
- g) Las comunidades deben presentar bajos indicadores socioeconómicos.
- h) Se deberán considerar únicamente viviendas existentes y formales.



## **ANEXO VI**

- Tipos de boletas para encuestas del INDE.
  - Boleta 1, Información general de la comunidad
  - Boleta 2, Información socioeconómica
  - Boleta 3, Boleta de campo, sistemas aislados



## INFORMACIÓN GENERAL DE LA COMUNIDAD

### Comunidad No Electrificada

# Boleta 1

#### 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICO

- 1.1 Comunidad: \_\_\_\_\_
- 1.2 Municipio: \_\_\_\_\_
- 1.3 Departamento: \_\_\_\_\_
- 1.4 Tipo de Proyecto: Introducción  Ampliación  Mixto
- 1.5 Localización coordenada UTM: \_\_\_\_\_
- 1.6 Tipos de acceso a la Comunidad (Km): Vereda: ( ) Terracería ( ) Asfalto ( )  
 Herradura ( ) Pie ( ) Otros ( ) \_\_\_\_\_
- 1.6 Transitable en: Verano ( ) Todo el año ( )
- 1.7 No. de viviendas en la comunidad: \_\_\_\_\_
- 1.8 Conjunto concentrado de viviendas Si ( ) No ( )
- 1.9 ¿Cuáles cree que son las necesidades urgentes de la comunidad?
- a. \_\_\_\_\_ b. \_\_\_\_\_ c. \_\_\_\_\_  
 d. \_\_\_\_\_ e. \_\_\_\_\_
- 1.10 Idioma predominante: \_\_\_\_\_ otros: \_\_\_\_\_
- 1.11 Clima: Frio ( ) Cálido ( ) Lluvioso ( )
- 1.12 Cuentan con diseño urbano Si ( ) No ( )
- 1.13 Servicios con que cuenta la comunidad:
- |   | Cantidad      |                         | Cantidad      |
|---|---------------|-------------------------|---------------|
| Agua entubada   | Si ( ) No ( ) | Pozo                    | Si ( ) No ( ) |
| Drenaje   | Si ( ) No ( ) | Letrinas                | Si ( ) No ( ) |
| Puesto de Salud   | Si ( ) No ( ) | Mercado                 | Si ( ) No ( ) |
| Rastro municipal  | Si ( ) No ( ) | Salón de usos múltiples | Si ( ) No ( ) |
| Telefonía   | Si ( ) No ( ) | Iglesia Católica        | Si ( ) No ( ) |
| Iglesia Evangélica  | Si ( ) No ( ) | Centro de convergencia  | Si ( ) No ( ) |
| Escuela primaria  | Si ( ) No ( ) | Auxiliatura             | Si ( ) No ( ) |
| Día de plaza: _____   |               | Otros: _____            |               |
| No. de Ambientes de la escuela (aulas, dirección, etc.) _____ |               | Ambientes.              |               |
| Escuela secundaria: Si ( ) No ( )                             |               |                         |               |
| No. de Ambientes de la escuela (aulas, dirección, etc.) _____ |               | Ambientes.              |               |
| Telesecundaria Si ( ) No ( )                                  |               |                         |               |
- 1.14 Alfabetismo (%): \_\_\_\_\_ Analfabetismo (%): \_\_\_\_\_
- 1.15 Características de las viviendas:
- Número promedio de ambientes por viviendas: \_\_\_\_\_
- Material predominante en la mayoría de las viviendas (cantidad):
- Techo: Concreto ( ) Teja ( ) Lámina ( ) Peja ( ) Otro: ( ) \_\_\_\_\_





Muros: Ladrillo o block ( ) Bahareque ( ) Adobe ( ) Lámina ( )  
Madera ( ) Lepa ( ) Otros: ( ) \_\_\_\_\_  
Piso: Cemento ( ) Ladrillo ( ) Tierra ( ) Otros: ( ) \_\_\_\_\_

## 2. ORGANIZACIÓN SOCIAL

2.1 ¿Está organizada la Comunidad? Si ( ) No ( )

2.2 Miembros COCODE: \_\_\_\_\_

NOMBRE	CARGO	No. TELEFONO

2.3 Comités Organizados:

NOMBRE COMITE	PRESIDENTE-REPRESENTANTE	No. TELEFONO

2.4 Líderes y autoridades comunitarias y su cargo:

NOMBRE	CARGO	No. TELEFONO

2.5 Instituciones o Empresas que trabajan en la Comunidad:

NOMBRE	ENTIDAD	PROYECTO O SERVICIO

2.6 Lugar para recibir notificaciones: \_\_\_\_\_

Otros: \_\_\_\_\_

## 3. ACTIVIDAD ECONÓMICA

3.1 Actividad Económica Principal: \_\_\_\_\_



Agricultura % ( ) Forestal: % ( ) Ganadería % ( ) Artesanía % ( ) Turismo % ( )  
 Comercio % ( ) Otros % ( ) Especificar \_\_\_\_\_  
 Cultivos: \_\_\_\_\_  
 Observación: \_\_\_\_\_

3.2 Ingreso promedio diario por familia (Q): \_\_\_\_\_

PERSONAS (Padre, Esposa, Hijos, etc.)	TIPOS DE INGRESOS						
	Cultivos				Temporal		
	Tipo	Área	Producto	Venta	Tiempo	Jornales (día)	Pago

PERSONAS (Padre, Esposa, Hijos, etc.)	TIPOS DE INGRESOS						
	Negocio			Artesanal			Empleo Formal
	Tipo	Ventas	Utilidad	Tipo	Producto	Valor	

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

#### 4. SUSTITUTOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1 Planta: Diesel ( ) Gasolina ( ) Potencia: \_\_\_\_\_  
 Compra combustible: \_\_\_\_\_ Q/semana, mes año.  
 Panel Solar: No. \_\_\_\_\_ Potencia: \_\_\_\_\_ Mantenimiento: \_\_\_\_\_ Q. \_\_\_\_\_

4.2 Comunicación:  
 Recarga a batería de celulares: \_\_\_\_\_ Q/recarga. No. de recargas: \_\_\_\_\_  
 Personas con celular: \_\_\_\_\_

4.3 Promedio por Vivienda (Información estimada por el encuestador a partir de las boletas residenciales):





CANDELAS			GAS (CANDIL) O KEROSENE			BATERIAS (PILAS)		
Precio Unitario	Cantidad Utilizada	Consumo	Precio	Unidad de Medida	Duración	Precio Par	Consumo	Duración
		Día						

4.4 Otros (especificar): \_\_\_\_\_

**5. COMERCIOS EXISTENTES** (Información estimada por el encuestador a partir de las boletas de usos productivos):

5.1 Negocios: (indicar cantidad):

Tiendas ( )                      Molinos de Nixtamal ( )                      Talleres de Carpintería ( )  
 Herrería ( )                      Aserraderos ( )                      Beneficio de Café ( )  
 Hospedaje ( )                      Granja Avícola ( )                      Telares ( )

Otros: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**6. SOBRE EL PROYECTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA:**

6.1 ¿Qué gestiones ha realizado para el Proyecto?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.2 ¿Qué beneficios piensan que se obtendrá al tener energía eléctrica?

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.3 ¿Desean el servicio de Energía Eléctrica?                      Si ( )                      No ( )

¿Por qué? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.4 Están dispuestos a otorgar el permiso (derecho de paso) para que pasen las líneas eléctricas:

Si ( )                      No ( ) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.5 Cuando tenga energía eléctrica que uso piensan darle o que otros negocios creen que se establecerían?;

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

6.6 ¿Sabe usted que al tener el servicio tiene que pagar el consumo?                      Si ( )                      No ( )

(Si la respuesta es negativa el encuestador debe informar al interesado del pago por el servicio)



- 6.7 ¿Sabe usted que empresa le cobrará el consumo de energía eléctrica? Si ( ) No ( )
- 6.8 ¿Considera que la comunidad está dispuesta a pagar el servicio de energía eléctrica? Si ( ) No ( )
- 6.9 ¿Sabe usted que en caso el INDE construya el proyecto de energía eléctrica, la comunidad no tiene que dar ningún aporte, en efectivo o en mano de obra? Si ( ) No ( )

*(El encuestador debe informar a los integrantes de (los) comité (s) que **no debe dar ningún aporte**, ni en efectivo, ni en mano de obra)*

- 6.10 Saben ustedes que se debe realizar la instalación interna conforme a normas establecidas y realizadas por un Técnico Electricista en cada vivienda antes de gestionar la conexión por cuenta del propietario? Si ( ) No ( )

*(El encuestador debe informar a los interesados que debe hacerla incluyendo su columna para poner el contador)*

**7. OBSERVACIONES (del encuestador):**

7.1 Actitud observada en los comunitarios entrevistados: \_\_\_\_\_

7.2 Aspectos generales: \_\_\_\_\_

7.3 Comentarios del Encuestador: \_\_\_\_\_

**7.4 DE LAS LINEAS DE TRANSMISIÓN MÁS CERCANAS.**

7.4.1 Distancia de la Línea más cercana: \_\_\_\_\_ Km.

7.4.2 No. de potenciales usuarios: \_\_\_\_\_  
Tipo de interesados (numero):    Residencial ( )    Comercial: ( )    Industrial: ( )

7.4.3 Dispersión de las viviendas: de 0 a 100 metros ( )    100 a 200 mts. ( )    Más de 200 ( )

**8. PERSONA QUE PROPORCIONÓ LA INFORMACIÓN Y ENCUESTADOR**

8.1 Nombre de la persona que proporcionó la información: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Firma y Sello Comité:

\_\_\_\_\_

8.2 Encuestador responsable: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_





**BOLETA DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA**  
 Residencial  
**LOCALIDAD NO ELECTRIFICADA**

Boleta 2

**I. FECHA:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**II. IDENTIFICACIÓN:**

COMUNIDAD: \_\_\_\_\_

MUNICIPIO: \_\_\_\_\_ DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_

**III. ACTIVIDAD ECONÓMICA PRINCIPAL DE LAS PERSONAS QUE RESIDEN EN LA VIVIENDA:**

Agricultor ( ) ; Ganadero ( ) ; Comercio ( ) ; Albañil ( ) ; Artesano ( ) ;

Herrero ( ) ; Panadero ( ) ; Jornalero ( ) ; Crianza de animales: ( ) ;

Tipo de trabajo que realiza:

\_\_\_\_\_

CUANTAS PERSONAS HABITAN EN LA VIVIENDA: \_\_\_\_\_

NÚMERO DE PERSONAS QUE TRABAJAN: \_\_\_\_\_

INGRESO PROMEDIO DIARIO POR FAMILIA: \_\_\_\_\_

DE SUS INGRESOS EN QUE GASTA MÁS: \_\_\_\_\_

GRADO DE ESCOLARIDAD DEL ENCUESTADO (A): \_\_\_\_\_

CUANTOS DE SUS HIJOS (A) ESTUDIAN: \_\_\_\_\_

**IV. SERVICIOS EN LA VIVIENDA:**

Agua entubada: Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Drenajes: Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Letrina: Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Posee tierra para cultivo: Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

Vivienda: Propia \_\_\_\_\_ Alquila \_\_\_\_\_

**V. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA**

Número de ambientes por viviendas: \_\_\_\_\_

Material de la vivienda:

Techo: Concreto ( ) Teja ( ) Lámina ( ) Paja ( ) Otro: ( ) \_\_\_\_\_

Muros: Ladrillo o block ( ) Bahareque ( ) Adobe ( ) Lámina ( ) Otros: ( ) \_\_\_\_\_

Piso: Cemento ( ) Ladrillo ( ) Tierra ( ) Otros: ( ) \_\_\_\_\_



**VI. ILUMINACIÓN DE LA VIVIENDA:**

Candelas: Si  No  Gasto promedio diario: \_\_\_\_\_ Unidades \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Gas (candil): Si  No  Gasto promedio diario: \_\_\_\_\_ Unidades \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Planta eléctrica: Si  No  Gasto promedio diario: \_\_\_\_\_ Unidades \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Pila seca: Si  No  Gasto promedio: \_\_\_\_\_  
 Batería de Vehículo Si  No  Gasto promedio: \_\_\_\_\_ Unidad \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Panel solar Si  No  Gasto promedio: \_\_\_\_\_ Unidad \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Carga Celular Si  No  Gasto promedio diario: \_\_\_\_\_ Unidad \_\_\_\_\_ Valor Q \_\_\_\_\_  
 Otros: \_\_\_\_\_  
 Observación: \_\_\_\_\_

**VII. INFORMACIÓN DE APARATOS USADOS EN LA VIVIENDA:**

Radio: Si (  ) No (  ) Radiograbadora: Si (  ) No (  )  
 Televisión: Si (  ) No (  ) Plancha: Si (  ) No (  )  
 Máquina de coser: Si (  ) No (  )

Otros: \_\_\_\_\_

Cuando tenga energía eléctrica que otros usos piensa darle?: \_\_\_\_\_

Que otros aparatos le gustaría tener cuando cuente con el servicio de energía eléctrica:

Plancha Eléctrica: Si (  ) No (  ) Licuadora: Si (  ) No (  )  
 Lavadora: Si (  ) No (  )

Otros: \_\_\_\_\_

Esta dispuesto a pagar el consumo del servicio de energía eléctrica: Si (  ) No (  )

Observación: \_\_\_\_\_

**VIII. NOMBRE DE LA PERSONA QUE PROPORCIONA LA INFORMACIÓN:** \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES DEL ENCUESTADO: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

OBSERVACIONES DEL EVALUADOR: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**IX. EVALUADOR:**

Nombre: \_\_\_\_\_ Cargo: \_\_\_\_\_



## BOLETA DE USOS PRODUCTIVOS

(Llenar una por cada uso productivo de la comunidad)  
COMUNIDAD NO ELECTRIFICADA

# Boleta 3

**I. FECHA:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**II. IDENTIFICACIÓN DE LA COMUNIDAD:**  
COMUNIDAD: \_\_\_\_\_  
MUNICIPIO: \_\_\_\_\_  
DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_

**III. INFORMACIÓN DEL USO PRODUCTIVO:**

3.1 Nombre del Uso Productivo: \_\_\_\_\_

3.2 Equipo que está utilizando: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.3 Gastos generados por cada equipo operación y mantenimiento, combustibles (Q/día):  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.4 Empleados utilizados: \_\_\_\_\_

3.5 Que es lo que produce o vende?: \_\_\_\_\_

3.6 Venta (unidades por día, semana o mes): \_\_\_\_\_

**IV. QUE EQUIPOS INSTALARÍA SI TUVIERA ENERGÍA ELÉCTRICA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
PORQUÉ: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**IV. NOMBRE DE LA PERSONA QUE PROPORCIONA LA INFORMACIÓN:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**V. OBSERVACIONES DEL ENCUESTADO:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VI. OBSERVACIONES DEL EVALUADOR:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VII. DATOS DEL EVALUADOR:** Nombre: \_\_\_\_\_



## **ANEXO VII**

- Manual de usuario.





## CUIDADOS QUE NECESITA TENER AL UTILIZAR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO

Una vez instalado el sistema fotovoltaico, es importante que los miembros de su familia y usted realicen una serie de acciones para mantenerlo funcionando.



Evite que algún objeto le dé sombra al panel solar, PODE árboles, NO LOS CORTE o MUEVA objetos que puedan taparlo.

NO lavar el panel con jabón.

Estos cuidados aseguran que el panel recoja y transforme en electricidad la mayor cantidad de energía solar.

### La batería

No desconecte, limpie o cambie la batería, este trabajo le corresponde al técnico local. Use la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico de forma racional.

No conecte aparatos diferentes a los autorizados.

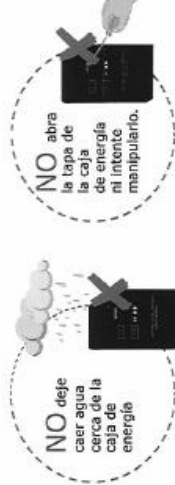


NO conecte aparatos diferentes a los autorizados.

NO limpie o cambie la batería, este trabajo le corresponde al técnico local.

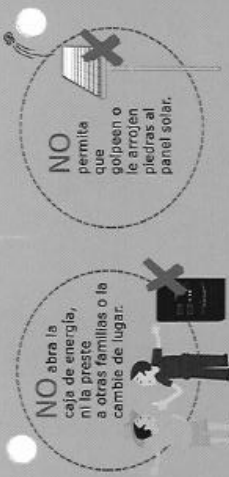
NO desconecte, limpie o cambie la batería, este trabajo le corresponde al técnico local.

### Otros cuidados importantes:



NO deje caer agua cerca de la caja de energía.

NO abra la tapa de la caja de energía ni intente manipularla.

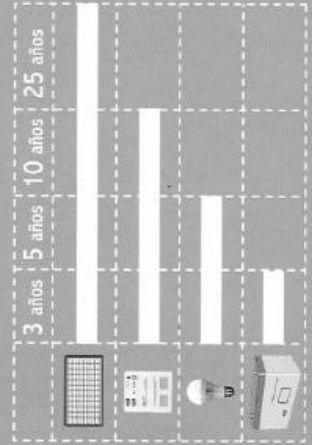


NO abra la caja de energía, ni la preste a otras familias o lo cambie de lugar.

NO permita que golpeen o le arrojen piedras al panel solar.

## ¿CUÁNTO TIEMPO DURA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO?

Un sistema fotovoltaico bien utilizado y cuidado, puede tener una larga vida útil. El cuadro siguiente muestra los años que en promedio debería durar cada componente o parte del sistema:



Este promedio depende del buen cuidado de los componentes

## ¿QUÉ HACER SI SE DAÑA O NO FUNCIONA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO?

En el caso que se active la alarma del regulador de carga o que su sistema deje de funcionar, no intente repararlo. Llame o busque inmediatamente al técnico local para que revise el sistema y de ser necesario lo repare.



# MANUAL DE USUARIO

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO 3.045 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INDIVIDUALES EN COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE COBÁN, DEPARTAMENTO DE ALTA VERAPAZ, GUATEMALA

CONIACIANOS  
Teléfono: 2303-0900 | Dirección: 0 Calle 15-37 Col. El Maestro Zona 15

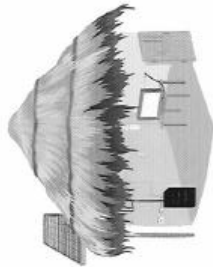


CONSORCIO  
MAVICO - BLINDAJES MAYA. S.A



Este manual le servirá para recordar los usos que su familia y usted pueden hacer del sistema fotovoltaico que se ha instalado en su vivienda.

También, se detallan los cuidados que debe proporcionarle al sistema para asegurar que los miembros de su familia puedan utilizarlo por más tiempo.

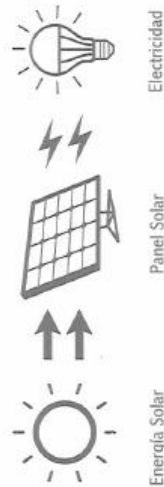


CONVIERTIENDO LOS  
RAYOS DEL SOL  
EN ENERGÍA  
ELÉCTRICA

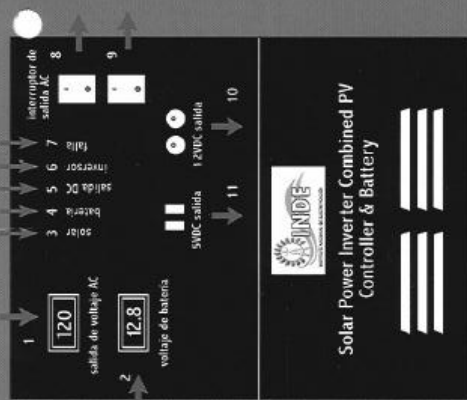
Usar petróleo o kerosene para iluminar las casas es común en nuestras comunidades, pero este recurso contamina el ambiente del hogar con humo que puede enfermar a su familia. Además, este recurso es cada vez más caro ya que se termina y no renace.

En nuestras comunidades existen fuentes de energía que se pueden utilizar para producir energía eléctrica. Los rayos del sol son un ejemplo de fuentes que se pueden utilizar para producir la energía eléctrica.

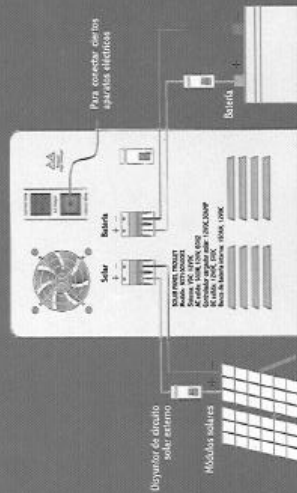
Para aprovechar la energía del sol, es necesario convertir los rayos solares en energía eléctrica. Esto se hace por medio de los paneles solares que posee el sistema fotovoltaico.



Los paneles solares reciben los rayos del sol y los transforman en electricidad.

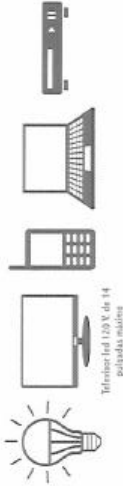


1. Salida de Voltaje AC.
2. Voltaje de batería.
3. Luz indicativa de entrada solar.
4. Luz indicativa de la batería.
5. Salida DC, 5VDC-USB, 12VDC salida de luz indicativa.
6. Indicador del Inversor.
7. Indicador de falla.
8. Botón de encendido/apagado de AC.
9. 5VDC-USB, 12 VDC. Botón de encendido/apagado de DC.
10. Puerto de salida 12VDC.
11. 5VDC-USB puerto de salida, para conectar USB y cargar celulares.



## ¿QUÉ APARATOS PODEMOS CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO?

La energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico le permite utilizar los siguientes aparatos eléctricos.

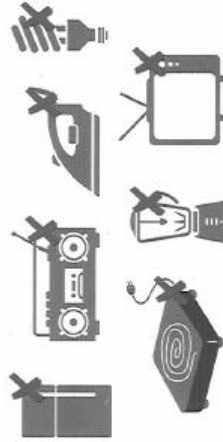


El tiempo que dura la energía eléctrica depende de la cantidad de aparatos eléctricos que los miembros de su familia utilicen y de la energía recogida por los paneles solares. No olvides el ahorro de energía. Pon tu panel a utilizar 3 horas por la noche y dos horas por la madrugada y así ahorrarás más energía.

La cantidad de energía eléctrica producida es mayor en días soleados. Recuerda que en días nublados la energía eléctrica durará menos y bajará tus horas de uso.

## ¿QUÉ APARATOS NO DEBEMOS CONECTAR AL SISTEMA FOTOVOLTAICO?

Para que los miembros de su familia disfruten el mayor tiempo posible de la energía eléctrica producida por el sistema, recuerde que existen algunos aparatos que no se deben conectar o utilizar. Por ejemplo:



El uso de cualquiera de estos aparatos dañará el sistema fotovoltaico de su vivienda. Está prohibido el uso de un inversor para el funcionamiento de estos equipos.



# Electrificación

## Rural es:

Luz para las comunidades

Oportunidad de desarrollo

Mejora las condiciones de vida

Comunicación

Energía para vivir mejor



# PMER

PROGRAMA MULTIFASE DE  
ELECTRIFICACIÓN RURAL

EL INDE comprometido con proveer calidad de vida a los habitantes del país, impulsa el Programa Multifase de Electrificación Rural con fuentes de energía renovable en zonas geográficas que no pueden ser cubiertas por la red eléctrica convencional, debido a que por la topografía del lugar, la dispersión de las viviendas, ser áreas protegidas o por la distancia, no es factible brindar el servicio de electricidad.

Dependiendo de las características del lugar se realiza un estudio para determinar cual es la tecnología adecuada para brindar el servicio a la comunidad; puede ser mediante instalación de módulos fotovoltaicos o paneles solares, un sistema micro hidro o eólico.

## Proyecto Piloto: Uaxactún, Petén

Sistema aislado utilizando paneles fotovoltaicos en las viviendas de la comunidad.



7a. Avenida 2-29 zona 9  
Unidad Ejecutora Programa  
Multifase de Electrificación Rural  
unidadajecupmer@inde.gob.gt



INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN



## Sistema Fotovoltaico

Se denomina sistema porque está compuesto por varios componentes o equipos. Fotovoltaico, es una palabra compuesta: foto que significa luz o cantidad de energía y voltaico que proviene de Voltio por lo tanto es la diferencia de voltaje que produce la luz del Sol al incidir en un material semiconductor, concierne las características que permitan este efecto.

### Componentes

#### Módulos fotovoltaicos:

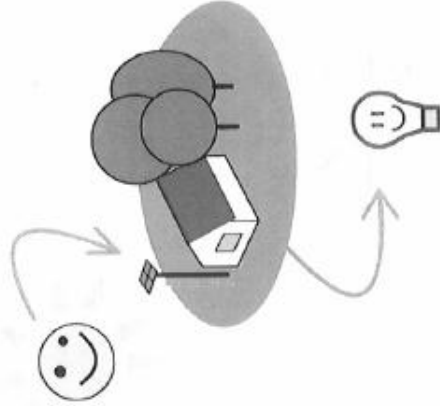
Es un componente de forma laminar formado por celdas de silicio, el cual es un material semiconductor que permite absorber la luz del Sol y producir corriente eléctrica

#### Controlador de Carga:

Es un dispositivo electrónico que permite controlar la carga y descarga de la o las baterías.

#### Baterías:

Su función es acumular la corriente eléctrica producida por el módulo fotovoltaico durante las horas de luz solar y aprovechar esa corriente eléctrica, tanto de día como de noche.



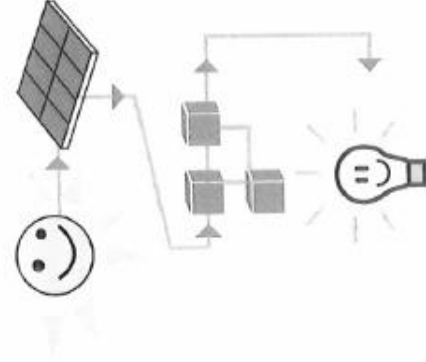
La luz proveniente del sol incide en el módulo fotovoltaico el cual producirá una corriente eléctrica.

(Corriente directa CD), esta corriente depende de la capacidad del módulo fotovoltaico y de la cantidad de luz solar que reciba el módulo. Por ejemplo, un panel de 100 Watt, produce 6 Amperios en corriente directa y si tenemos 4 horas de sol por día producirá 24 Ah/día.

Esta energía eléctrica pasa por un controlador de carga que regulará la carga y la descarga de la batería para lograr aumentar la vida útil de la batería, el cual es el equipo que se puede dañar más rápido, si no se tiene el debido cuidado con la carga y la descarga.

Índice de electrificación del país al 2011 84%

Posteriormente se extrae de la batería la energía para las cargas conectadas al sistema.



#### Inversor:

Es un componente electrónico que se utiliza cuando se necesita transformar la corriente directa en corriente alterna, para alimentar equipos que requieren voltajes, como por ejemplo 120 voltios, 60 Hz en un sistema aislado o de respaldo

#### Cargas:

Son los equipos o componentes eléctricos que se conectan a los sistemas fotovoltaicos.

#### Disyuntores o Protecciones:

Son los equipos de protección que interrumpen el paso de la corriente eléctrica, cuando ocurre un falso contacto.

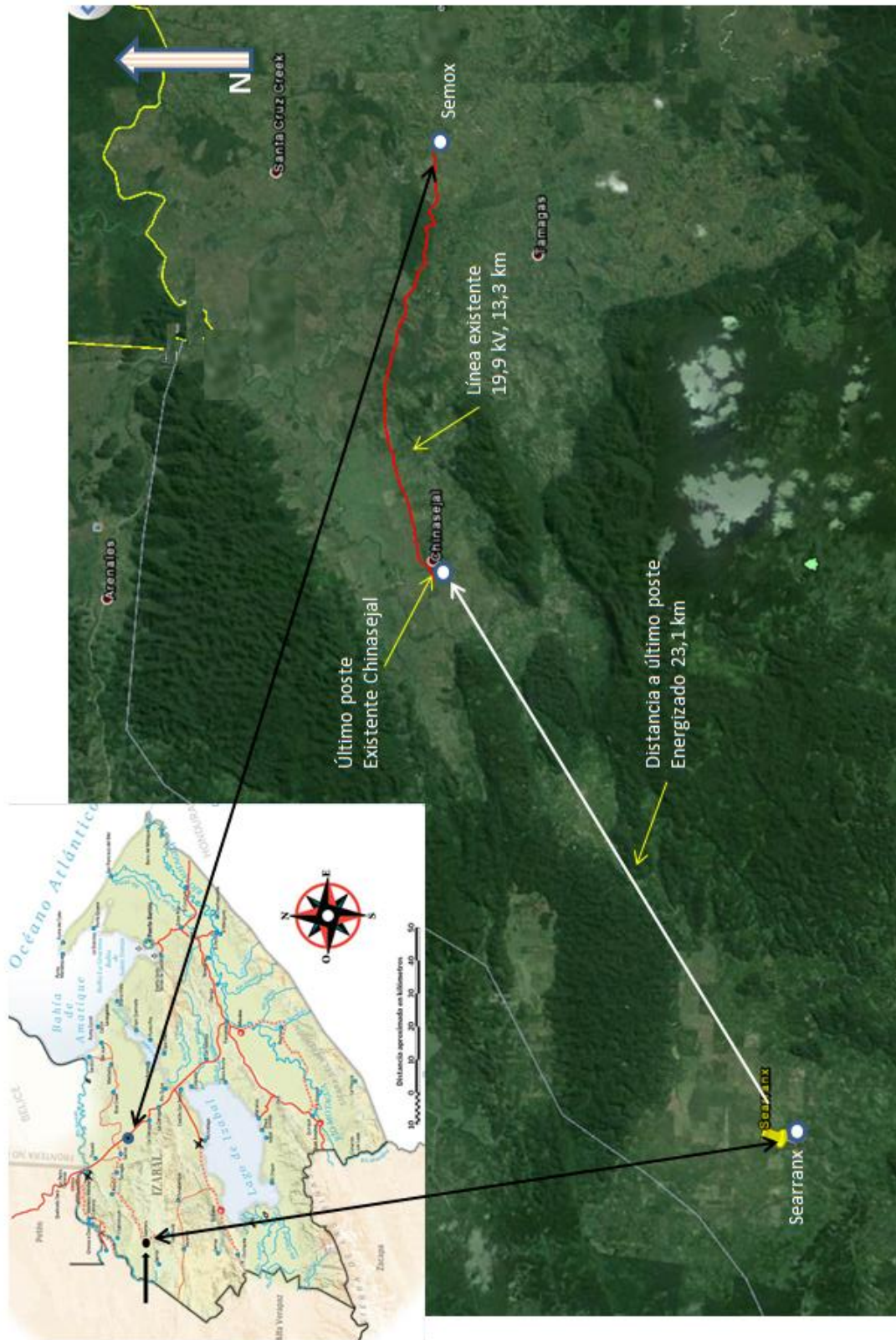




## **ANEXO VIII**

- Croquis de ubicación de aldeas Searranx y Chinasejal (ubicación de último poste energizado)





Anexo IX. Distancia entre Searranx y Chinasejal, 23,1 km. Ubicación último poste con energía Fuente: Google Earth, ubicación último poste energizado, (2016).



## **ANEXO IX**

- Croquis de ubicación de viviendas en la aldea Searranx.





IDENTIFICACION VIVIENDA	ZONA	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
49	36P	238934.00 m E	1741361.00 m N
50	36P	238921.00 m E	1741373.00 m N
51	36P	238988.00 m E	1741363.00 m N
52	36P	238917.00 m E	1741380.00 m N
53	36P	238883.00 m E	1741379.00 m N
54	36P	238875.00 m E	1741389.00 m N
55	36P	238804.00 m E	1741360.00 m N
56	36P	238669.00 m E	1741356.00 m N
57	36P	238662.00 m E	1741333.00 m N
58	36P	238662.00 m E	1741342.00 m N
59	36P	238844.00 m E	1741257.00 m N
60	36P	238865.00 m E	1741257.00 m N
61	36P	238844.00 m E	1741266.00 m N
62	36P	238710.00 m E	1741269.00 m N
63	36P	238678.00 m E	1741256.00 m N
64	36P	238622.00 m E	1741256.00 m N
65	36P	238640.00 m E	1741302.00 m N
66	36P	238592.00 m E	1741378.00 m N
67	36P	238592.00 m E	1741341.00 m N
68	36P	238575.00 m E	1741292.00 m N
69	36P	238971.00 m E	1741304.00 m N
70	36P	238969.00 m E	1741388.00 m N
71	36P	238940.00 m E	1741352.00 m N
72	36P	238940.00 m E	1741392.00 m N
73	36P	238678.00 m E	1741398.00 m N
74	36P	238652.00 m E	1741420.00 m N
75	36P	238664.00 m E	1741441.00 m N
76	36P	238679.00 m E	1741465.00 m N
77	36P	238677.00 m E	1741464.00 m N
78	36P	238952.00 m E	1741410.00 m N
79	36P	238966.00 m E	1741387.00 m N
80	36P	238970.00 m E	1741459.00 m N
81	36P	238921.00 m E	1741438.00 m N
82	36P	238962.00 m E	1741468.00 m N
83	36P	238930.00 m E	1741405.00 m N
84	36P	238942.00 m E	1741480.00 m N
85	36P	238942.00 m E	1741487.00 m N
86	36P	238738.00 m E	1741517.00 m N
87	36P	238789.00 m E	1741514.00 m N
88	36P	238726.00 m E	1741637.00 m N
89	36P	238795.00 m E	1741637.00 m N
90	36P	238811.00 m E	1741662.00 m N
91	36P	238918.00 m E	1741639.00 m N
92	36P	238916.00 m E	1741589.00 m N
93	36P	238918.00 m E	1741569.00 m N
94	36P	238902.00 m E	1741506.00 m N
95	36P	238884.00 m E	1741462.00 m N
96	36P	238907.00 m E	1741425.00 m N

IDENTIFICACION VIVIENDA	ZONA	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
1	36P	238252.00 m E	1740587.00 m N
2	36P	238904.00 m E	1740311.00 m N
3	36P	238838.00 m E	1740207.00 m N
4	36P	238926.00 m E	1740256.00 m N
5	36P	238853.00 m E	1740204.00 m N
6	36P	238840.00 m E	1740358.00 m N
7	36P	238927.00 m E	1740356.00 m N
8	36P	238894.00 m E	1740709.00 m N
9	36P	239013.00 m E	1740590.00 m N
10	36P	238934.00 m E	1740305.00 m N
11	36P	238955.00 m E	1740315.00 m N
12	36P	239110.00 m E	1740395.00 m N
13	36P	239135.00 m E	1740444.00 m N
14	36P	239125.00 m E	1740356.00 m N
15	36P	238848.00 m E	1740333.00 m N
16	36P	239010.00 m E	1740356.00 m N
17	36P	238965.00 m E	1740352.00 m N
18	36P	238960.00 m E	1740377.00 m N
19	36P	239055.00 m E	1740367.00 m N
20	36P	239130.00 m E	1740396.00 m N
21	36P	239114.00 m E	1740211.00 m N
22	36P	239118.00 m E	1740238.00 m N
23	36P	239117.00 m E	1740259.00 m N
24	36P	239013.00 m E	1740384.00 m N
25	36P	238965.00 m E	1740277.00 m N
26	36P	239079.00 m E	1740216.00 m N
27	36P	239125.00 m E	1740396.00 m N
28	36P	239114.00 m E	1740483.00 m N
29	36P	239124.00 m E	1740453.00 m N
30	36P	239161.00 m E	1740500.00 m N
31	36P	239216.00 m E	1740500.00 m N
32	36P	239216.00 m E	1740532.00 m N
33	36P	239245.00 m E	1740565.00 m N
34	36P	239253.00 m E	1740573.00 m N
35	36P	239250.00 m E	1740572.00 m N
36	36P	238984.00 m E	1740399.00 m N
37	36P	238970.00 m E	1740355.00 m N
38	36P	238948.00 m E	1740339.00 m N
39	36P	238921.00 m E	1740316.00 m N
40	36P	238938.00 m E	1740282.00 m N
41	36P	238954.00 m E	1740255.00 m N
42	36P	238904.00 m E	1740276.00 m N
43	36P	238946.00 m E	1740305.00 m N
44	36P	238942.00 m E	1740316.00 m N
45	36P	238940.00 m E	1740228.00 m N
46	36P	238934.00 m E	1740377.00 m N
47	36P	238935.00 m E	1740443.00 m N
48	36P	238841.00 m E	1740352.00 m N

## LOCALIZACIÓN COMUNIDAD SEARRANX RESPECTO CARRETERA CA-13



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Postgrado  
Centro de Estudios de Energía / Ambiente

Tesis:  
Análisis de energía eléctrica con parámetros eléctricos individualizados a la comunidad  
Sarranx, Unarranx, Urranx, Urranx, Guatemala.

Hoja No. 2

Ejecutor:  
Ingeniero Esteban Martínez Guerra

Fecha:  
11/05/2018

Escala:  
Indicada