



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

**ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE  
COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL  
RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)**

**Rolando Antonio Padilla Miranda**

Asesorado por el Ing. Jorge Ivan Ávila Rosales

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE  
COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL  
RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ROLANDO ANTONIO PADILLA MIRANDA**  
ASESORADO POR EL ING. JORGE IVAN ÁVILA ROSALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Mecánica Eléctrica, con fecha con fecha 23 de abril de 2012.



Rolando Antonio Padilla Miranda

Guatemala, 10 de Octubre del 2013

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad EPS  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Reciba un cordial saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de graduación titulado: "ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)"; desarrollado por el estudiante Rolando Antonio Padilla Miranda con carné: 200011570.

Puedo concluir que dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis, para lo cual me complace dar la aprobación respectiva e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

  
Ing. Jorge Iván Avila Rosales  
Colegiado No. 9232  
ASESOR  
*Jorge Iván Avila Rosales*  
INGENIERO ELECTRICISTA  
Col. No. 9232



Ref. EIME 77. 2013  
Guatemala, 10 de SEPTIEMBRE 2013.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE  
ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON  
ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC  
COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNATIONAL), del  
estudiante Rolando Antonio Padilla Miranda, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier González López  
Coordinador Área Potencia



STO



Guatemala, 18 de octubre de 2013.  
Ref.EPS.DOC.1146.10.13.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Rolando Antonio Padilla Miranda** de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con carné No. **200011570**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)”**.

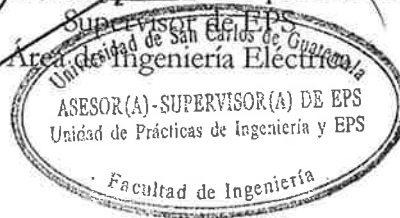
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Nathaniel Jonathan Requena Gómez



c.c. Archivo  
NJRG/ra



Guatemala 18 de octubre de 2013.  
Ref.EPS.D.767.10.13.

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

Estimado Ingeniero Puente Romero.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Rolando Antonio Padilla Miranda**, quien fue debidamente asesorado por el Ing. Jorge Iván Ávila Rosales y supervisado por el Ing. Natanael Jonathan Requena Gómez.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Juan Merck Cos  
Director Unidad de EPS  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
DIRECCIÓN  
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS  
Facultad de Ingeniería

JMC/ra





REF. EIME 77. 2013.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; ROLANDO ANTONIO PADILLA MIRANDA titulado: ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNTIONAL), procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Guillermo Antonio Puente Romero**

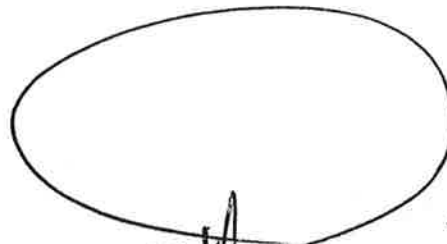


**GUATEMALA, 23 DE OCTUBRE 2013.**



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ELABORACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN DE COMUNIDADES REMOTAS CON ENERGÍAS RENOVABLES EN NATIONAL RURAL ELECTRIC COOPERATIVE ASSOCIATION (NRECA INTERNACIONAL)**, presentado por el estudiante universitario: **Rolando Antonio Padilla Miranda**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, noviembre de 2013



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darle salud, vida y trabajo a mis padres y sabiduría a los que me formaron.
<b>Mis padres</b>	Rolando David Padilla Cermeño y Rosa Reyna Miranda Shaúl, por ser los responsables de este logro.
<b>Mis hermanos</b>	Por su amor y apoyo incondicional.
<b>Mi familia</b>	Por el cariño que siempre me han brindado.
<b>Mis amigos</b>	Por demostrar su lealtad, afecto y apoyo desinteresadamente.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Antecedentes de la empresa .....	1
1.1.1. Reseña histórica .....	1
1.1.2. Misión .....	2
1.1.3. Visión.....	2
1.2. Servicios que realiza .....	2
1.3. Descripción de las necesidades .....	3
1.4. Priorización de las necesidades .....	4
2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL .....	5
2.1. Descripción del proyecto .....	5
2.1.1. Portafolio de proyectos .....	5
2.1.1.1. Lineamientos considerados para elaborar un portafolio de proyectos de electrificación de comunidades remotas.....	7
2.1.2. Electrificación en comunidades remotas .....	8
2.1.3. Energías renovables .....	9

	2.1.3.1.	Energía hidráulica .....	9
	2.1.3.2.	Energía eólica .....	9
	2.1.3.3.	Energía solar .....	10
	2.1.3.4.	Energía geotérmica .....	10
	2.1.3.5.	Energía biomásica.....	10
2.2.		Investigación preliminar para la solución del proyecto .....	11
	2.2.1.	Selección de comunidades.....	11
	2.2.2.	Acceso a las comunidades.....	13
	2.2.3.	Organización de las comunidades .....	14
	2.2.4.	Infraestructura y servicios de la región.....	16
	2.2.5.	Servicios básicos.....	16
	2.2.6.	Recursos naturales renovables en Sierra Caral .....	17
	2.2.7.	Clima y zona de la región .....	18
	2.2.8.	Hidrología .....	19
2.3.		Presentación de la solución al proyecto .....	19
	2.3.1.	Potencial de energía renovable en la región .....	20
	2.3.2.	Sistemas de energía fotovoltaica .....	23
		2.3.2.1. ¿Qué es el sistema fotovoltaico? .....	23
		2.3.2.2. Diseño del tamaño de las celdas solares.....	24
		2.3.2.3. Cantidad de energía eléctrica producida.....	27
		2.3.2.4. Componentes de un sistema FV .....	27
		2.3.2.4.1. Panel solar .....	27
		2.3.2.4.2. Soporte de un panel solar .....	29
		2.3.2.4.3. Inversor .....	29
		2.3.2.4.4. Cableado.....	30
		2.3.2.4.5. Protección .....	30

	2.3.2.4.6.	Puesta a tierra de un sistema FV.....	31
	2.3.2.4.7.	Cómo funciona un sistema fotovoltaico .....	31
	2.3.2.4.8.	Esquema de un sistema FV.....	32
	2.3.2.4.9.	Mantenimiento y cuidados de los sistemas FV.....	33
2.4.		Costos y recuperación de la inversión.....	34
	2.4.1.	Cálculo de la producción anula esperada de energía .....	34
	2.4.2.	Costo de un sistema fotovoltaico .....	37
	2.4.3.	Evaluación técnico económica.....	43
		2.4.3.1. Paneles solares .....	44
		2.4.3.2. Línea convencional.....	47
	2.4.4.	Financiamiento del proyecto .....	50
2.5.		Beneficios del proyecto.....	50
3.		FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE .....	53
	3.1.	Capacitación propuesta.....	53
		3.1.1. Material elaborado .....	54
		3.1.2. Manual de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.....	54
		CONCLUSIONES .....	59
		RECOMENDACIONES.....	61
		BIBLIOGRAFÍA.....	63
		APÉNDICE.....	65

ANEXOS.....77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación comunidades .....	13
2.	Rutas de acceso comunidades .....	14
3.	Radiación durante el año de las comunidades.....	22
4.	Panel solar en paralelo.....	28
5.	Panel solar en serie.....	28
6.	Inversor .....	30
7.	Esquema de un sistema FV .....	32
8.	Curva de generación de un sistema FV .....	35
9.	Trazo de línea de media tensión para llegar a comunidades .....	48

### TABLAS

I.	Cobertura eléctrica departamental MEM 2010.....	11
II.	Radiación solar diaria-horizontal .....	21
III.	Energía promedio durante un día soleado .....	36
IV.	Presupuesto proyecto Negro Norte Abajo.....	40
V.	Presupuesto proyecto Negro Norte Arriba .....	40
VI.	Presupuesto proyecto Mirasol.....	41
VII.	Presupuesto proyecto Progreso Real.....	41
VIII.	Evaluación económica de un panel solar 1 .....	44
IX.	Resultados evaluación económica 1 .....	45
X.	Evaluación económica de un panel solar 2.....	46
XI.	Resultados evaluación económica 2.....	47



XII. Presupuesto construcción de línea convencional de energía eléctrica .....49

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperios
<b>Ah</b>	Amperio, hora
<b>\$</b>	Dólar
<b>FV</b>	Fotovoltaico
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>KWh/m<sup>2</sup>/día</b>	Kilovatio hora por metro cuadrado por día
<b>KWp</b>	Kilovatio pico
<b>%</b>	Porcentaje
<b>W</b>	Vatio
<b>Wh</b>	Vatio hora
<b>Wp</b>	Vatio pico
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Vatio por metro cuadrado



## GLOSARIO

<b>ANACAFE</b>	Asociación Nacional de Café.
<b>BAD</b>	Banco Asiático de Desarrollo.
<b>Bmh-ST</b>	Bosque Húmedo Sub-Tropical Cálido.
<b>Bmh-S(c)</b>	Bosque muy Húmedo Sub-Tropical Cálido.
<b>Corriente</b>	Es la tasa de flujo de carga que pasa por un determinado punto de un circuito eléctrico.
<b>Células fotovoltaicas</b>	Dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotovoltaico.
<b>Corto circuito</b>	Fenómeno eléctrico que se produce accidentalmente por contacto entre los conductores de diferente potencial y suele producir una descarga.
<b>Celda fotovoltaica</b>	Dispositivo que transforma la radiación de sol en energía eléctrica.
<b>COCODES</b>	Consejos Comunitarios de Desarrollo.
<b>CONAP</b>	Consejo Nacional de Áreas Protegidas.

<b>Dilatación térmica</b>	Cambio de longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica que sufre un cuerpo físico debido al cambio de temperatura que se provoca en ella por cualquier medio.
<b>DFID</b>	Departamento del Reino Unido para el Desarrollo Internacional.
<b>Electrificación rural</b>	Proceso en el cual se busca abastecer de energía a las distintas localidades del país que no cuentan con un suministro apropiado.
<b>Estudio de factibilidad</b>	Es el análisis amplio de los resultados financieros, económicos y sociales de una inversión.
<b>Estudio de perfectibilidad</b>	Es una breve investigación sobre el marco de factores que afectan al proyecto, así como de los aspectos legales que lo afectan.
<b>Estudios ambientales</b>	Estudio que tiene por objeto dar recomendaciones para prevenir y reducir el impacto ambiental que puede generarse con las operaciones industriales.
<b>EE.UU</b>	Estados Unidos de América.
<b>FONTIERRA</b>	Fondo de Tierras.
<b>FUNDAECO</b>	Fundación para el Eco-desarrollo y la Conservación.
<b>Generador fotovoltaico</b>	Conjunto de módulos conectados en serie y en paralelo entre sí.
<b>GPS</b>	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global).

<b>Irradiación</b>	Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo. Se mide en kWh/m <sup>2</sup> .
<b>Inversor</b>	Convertidor de tensión y corriente continua a tensión y corriente alterna.
<b>Módulo o panel fotovoltaico</b>	Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de la intemperie.
<b>MOSFET</b>	(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), Transistor de efecto de campo diseñado para manejar los niveles de potencia significativos.
<b>NRECA</b>	National Rural Electric Cooperative Association.
<b>Potencia</b>	Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.
<b>Panel solar en paralelo</b>	Células fotovoltaicas agrupadas en un panel conectadas todas en paralelo.
<b>Panel solar en serie</b>	Células fotovoltaicas agrupadas en un panel conectadas todas en serie.
<b>Puestas a tierra</b>	Camino conductivo permanente y continuo con capacidad suficiente para conducir a tierra cualquier corriente de falla probable.

<b>Potencia pico (Wp)</b>	Elemento fotovoltaico, se define como la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida: * irradiación: 1000W/m <sup>2</sup> * temperatura: 25° C * AM: 1.5.
<b>PRONADE</b>	Programa Nacional de Autogestión para el Desarrollo Educativo.
<b>Rentabilidad</b>	Capacidad de producir o generar un beneficio adicional por sobre la inversión o esfuerzo realizado.
<b>Radiación solar</b>	Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.
<b>Sobrecargas</b>	Exceso de energía en un circuito.
<b>Sobre descargas</b>	Cuando el consumo en corriente eléctrica supera los límites establecidos en tu instalación o equipo eléctrico.
<b>Software</b>	Es un conjunto de instrucciones legibles por máquina que dirige un equipo de procesador para realizar operaciones específicas.
<b>Sistema fotovoltaico</b>	Sistema de paneles fotovoltaicos conectados entre sí que funciona como unidad para producir energía.
<b>Tecnologías renovables</b>	Aquella que utiliza métodos e insumos no tradicionales.
<b>Tensión</b>	Es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

**USAID** Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

**Ventana solar** Son ventanas que generan energía a partir de los rayos solares, creadas por varias empresas y universidades en todo el mundo.





## **RESUMEN**

En Guatemala hay muchas regiones que no están ni estarán consideradas para ser electrificadas, dichas regiones se caracterizan por tener un difícil acceso, viviendas dispersas, familias de bajos ingresos, bajo consumo energético y con una íntima relación directa con los recursos naturales.

El proyecto consiste en elaborar un portafolio de proyectos de electrificación con energías renovables, para comunidades rurales aisladas de Sierra Caral, Morales, Izabal, en donde la energía eléctrica convencional tiene muy pocas posibilidades de llegar. La investigación ubica comunidades remotas que tienen las condiciones necesarias para el desarrollo de proyectos con energías renovables, el propósito es el mejoramiento en las condiciones de vida, tomando en cuenta la preservación del medio ambiente.

Los estudios realizados en las comunidades de Negro Norte Abajo, Negro Norte Arriba, Mirasol y Progreso Real, dejan ver que las condiciones de recursos naturales, características técnicas, sociales y financieras son propicias para realizar proyectos con energías renovables. Para el portafolio de proyectos se tuvo como base la información recabada en la prospección realizada en campo, corroborándola con la información de la investigación de las cuatro comunidades. El portafolio de proyectos contiene a las cuatro comunidades y cada comunidad será un proyecto según las condiciones naturales que tenga el desarrollo del mismo.

Con la información que se obtuvo y las investigaciones realizadas el proyecto se inclina al desarrollo de proyectos solares, descartando las demás propuestas por distintas razones. Los proyectos solares se hacen con base en un sistema fotovoltaico que genera energía eléctrica a través de la radiación solar, los sistemas fotovoltaicos requieren de muy poco mantenimiento, son de fácil instalación, tienen una vida útil larga, resisten condiciones climáticas extremas, y se puede aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

Tomando en cuenta que las comunidades son de escasos recursos y no podrían financiar un proyecto solar, se buscará ayuda por medio de los COCODES a las municipalidades u organizaciones gubernamentales y no gubernamentales tales como NRECA que cuenta con un fideicomiso con el cual se puede acceder a préstamos con facilidades de pago, haciendo que los comunitarios puedan conformar comités de energía eléctrica con el cual puedan cobrar un monto de energía mensual para el pago y mantenimiento de sus equipos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Obtener una cartera de proyectos de electrificación con energías renovables en comunidades remotas para National Rural Electric Cooperative Association con la expectativa de electrificar en el futuro.

### **Específicos**

1. Determinar cuáles son los departamentos con menos cobertura eléctrica en Guatemala.
2. Ubicar comunidades que se encuentran con el menor índice de cobertura eléctrica y que tengan las condiciones necesarias para desarrollar un proyecto de electrificación con energías renovables.
3. Estudiar las características socioculturales, ambientales y el potencial de energía renovable de la región.
4. Realizar un estudio de proyectos de energía renovable, que pueda contribuir con el desarrollo de las comunidades.
5. Mostrar que es técnica y económicamente factible la realización del proyecto.



## INTRODUCCIÓN

National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), es una institución que se ha dedicado en Guatemala al tema de la electrificación rural desde hace 25 años, ha desarrollado proyectos con tecnologías renovables como energía hidráulica, eólica, solar entre otras y también tiene experiencia en proyectos de planificación nacional en electrificación rural.

En Guatemala existe un 17.31 % de hogares que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, debido a que muchas familias a través de los años y en la actualidad migran en busca de tierras para poder cultivar y tener una mejor oportunidad de desarrollo llegando a lugares lejanos y con difícil acceso, esto ha hecho que las familias no tengan acceso a servicios básicos como agua, drenajes y mucho menos servicio de energía eléctrica.

Estas comunidades están regadas a lo largo y ancho del territorio nacional, pero hay departamentos que tienen un menor índice de cobertura eléctrica, y según tabla del Ministerio de Energía y Minas (MEM), los departamentos con menor índice de cobertura eléctrica son Izabal, Quiché, Baja Verapaz, Petén, y Alta Verapaz. Como se puede observar el norte del país es el menos electrificado, ya que tiene cuatro de las cinco comunidades menos electrificadas, por lo que se tomara esa zona para ayudar a aumentar su índice de cobertura.

El departamento de Izabal es una zona topográficamente compleja y con muchos microclimas donde predomina la pluviosidad, y una rica biodiversidad, es una región con baja cobertura eléctrica por sus problemas de precipitación

pluvial y abundantes ríos, y es una zona con mayor dificultad de acceso que es lo que se busca para el desarrollo del presente documento. En el municipio de Morales se encuentra ubicada la Sierra Caral, que es una región montañosa del municipio, allí se encuentran ubicadas las comunidades de Negro Norte Arriba, Negro Norte Abajo, Mirasol y Progreso Real, en las cuales se encontró mediante el trabajo de campo que existen condiciones para el desarrollo de proyectos de electrificación auto sostenibles, ya que las comunidades cuentan con una buena organización y en la zona existe un gran potencial para el desarrollo de energías renovables.

La electrificación rural es un pilar de desarrollo económico y social en Guatemala, por que brinda la oportunidad de iluminación en sus residencias y centros de servicios públicos, también la oportunidad para la utilización de equipos electrónicos y la oportunidad de desarrollar economía informal a través de micro empresa rural.

La elaboración del portafolio de proyectos de electrificación para comunidades aisladas pretende estudiar las comunidades seleccionadas para poder contemplar el desarrollo de proyectos que lleven beneficio a las familias, y que puedan volverse auto sostenible por las comunidades.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Antecedentes de la empresa**

NRECA Internacional cuenta con más de cincuenta años de experiencia en el tema de electrificación rural alrededor del mundo, y desde hace 25 años cuenta con una oficina en Guatemala. Tiene una amplia capacidad técnica en la implementación de proyectos de extensión de sistemas convencionales de distribución eléctrica; experiencia con tecnologías renovables, incluyendo energía hidráulica, eólica, solar, y energía con biomasa. Ha implementado varios proyectos y programas en Latinoamérica de diseño, adquisición, y construcción de sistemas de energía eléctrica, y también tiene bastante experiencia en proyectos de planificación nacional de electrificación rural. Además, NRECA tiene la experiencia de haber diseñado, creado e implementado centenares de entidades proveedoras de servicio energético en áreas rurales, tanto interconectados a redes eléctricas convencionales, como aquellos que utilizan tecnologías renovables. Por eso, NRECA es reconocida como una de las instituciones líderes a nivel internacional en el campo de la electrificación rural.

### **1.1.1. Reseña histórica**

NRECA Internacional inicio actividades en noviembre de 1962, cuando NRECA y la agencia de nueva creación de EE.UU. para el Desarrollo Internacional (USAID), firmó un acuerdo de cooperación en la Oficina Oval de la Casa Blanca en una ceremonia presenciada por el presidente John F. Kennedy. NRECA International, Ltd. se incorporó como una subsidiaria de



propiedad total de NRECA en junio de 1972. El propósito original de la participación en el extranjero de NRECA era compartir las lecciones aprendidas en la electrificación de las zonas rurales en los Estados Unidos con los países en desarrollo en todo el mundo. NRECA Internacional ha desarrollado e implementado programas de electrificación rural en más de 42 países con el apoyo generoso financiamiento de la USAID, EE.UU. Departamento de Agricultura, y otras organizaciones internacionales bilaterales y multilaterales como el Banco Mundial, el Departamento del Reino Unido para el Desarrollo Internacional (DFID), Banco Asiático de Desarrollo (BAD) y las agencias gubernamentales del país anfitrión. Estos programas han dado lugar a una mayor productividad agrícola, millones de nuevos puestos de trabajo en micro y pequeñas empresas. NRECA Internacional, mantiene su oficina central en la sede de NRECA en Arlington, Virginia.

### **1.1.2. Misión**

“Coadyuvar esfuerzos para llevar energía eléctrica de manera técnica, confiable y segura, financieramente accesible y ambientalmente amigable, para utilizarse como una herramienta de desarrollo económico y social.”

### **1.1.3. Visión**

“Hacer todo lo que esté a nuestro alcance para llevar la electricidad al área rural.”

## **1.2. Servicios que realiza**

Desde 1962, NRECA International ha desarrollado programas que promueven la prosperidad económica en los países en desarrollo mediante la asistencia técnica y capacitación en electrificación rural. NRECA Internacional

se esfuerza por crear cultivos permanentes de negocios y entornos operativos en los que las instituciones locales de electrificación son capaces de sobrevivir, competir, prosperar, los servicios NRECA International principales incluyen:

- Estudios de factibilidad
- Desarrollo institucional
- Usos productivos y desarrollo económico
- Tecnología de energía renovable
- Diseño y planificación de proyectos de electrificación rural
- Las operaciones de gestión y suministro

### **1.3. Descripción de las necesidades**

En Guatemala existe un 17.31 % de hogares que no cuenta con el servicio de energía eléctrica, esto debido a que a través de los años y en la actualidad hay familias que migran hacia regiones aisladas y con difícil acceso en busca de tierras para poder cultivar y tener mejor oportunidad de desarrollo. Por eso la electrificación rural es un pilar de desarrollo económico y social en Guatemala, porque le brinda la oportunidad a estas familias de tener beneficios como la cantidad y calidad de iluminación en sus residencias y centros de servicios públicos, la oportunidad para la utilización de equipos electrónicos como radios, televisores, computadoras, refrigeradoras para el comercio, salud (en lo referente al almacenamiento de vacunas), y la oportunidad de desarrollar economía informal, a través de la micro empresa rural. Algunos beneficios sociales como la oportunidad de extender el horario de enseñanza y aprendizaje a horas de la noche, la incorporación de jóvenes y mujeres en la vida productiva y en los programas de alfabetización y educación extraescolar, la seguridad pública y el efecto de atracción que ejerce una comunidad

electrificada sobre sus alrededores, convirtiéndola en un pequeño pero significativo pilar de desarrollo.

#### **1.4. Priorización de las necesidades**

Existen muchas regiones en Guatemala que no se encuentran consideradas dentro del Fideicomiso de Electrificación Rural, que cuenta con una inversión millonaria únicamente en la expansión de la red nacional. Sin embargo, en el caso de que el Fideicomiso de Electrificación Rural, impulsado por el Gobierno de Guatemala llegará a completar sus metas, todavía quedarían aproximadamente 500 000 viviendas sin electricidad, localizadas en lo profundo del área rural, en zonas protegidas y en áreas históricamente marginadas. Estas regiones remotas se caracterizan por tener difícil acceso, viviendas dispersas, familias de bajos ingresos, bajo consumo energético, muy pocas oportunidades en general y con una relación directa con la naturaleza. Estas familias no cuentan con una posibilidad clara para poder tener energía eléctrica. Para electrificar este tipo de comunidades se necesita de una visión integradora y una estrategia consistente e incluyente de los entes responsables y de sus líderes, así como de un sistema solidario y equitativo.

## **2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL**

### **2.1. Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en elaborar un portafolio de proyectos de electrificación para comunidades rurales aisladas en Sierra Caral, del municipio de Morales, departamento de Izabal, en donde existe una baja posibilidad que llegue la energía eléctrica convencional, ya que no es viable técnica y económicamente, por estar en lugares con difícil acceso, donde hay poca población y la distancia de la línea más cercana es bastante lejana. El proyecto pretende ubicar comunidades aisladas en donde la red eléctrica nacional de distribución este lejos de acercarse a las comunidades. Luego de seleccionadas las comunidades se realizará una visita de campo para estudiar los posibles proyectos de desarrollo de generación de energía eléctrica, y se recaudará la información necesaria para la evaluación de los sitios y poder proponer el proyecto más adecuado y económico de generación que se pueden desarrollar en dichas comunidades, y por último se establecerán las normas y procesos concretos para la organización y la administración del los proyectos, de manera que los responsables de operar y mantener los sistemas comunitarios de energía tengan una participación activa en las diferentes etapas del proceso del desarrollo del proyecto.

#### **2.1.1. Portafolio de proyectos**

El conocimiento de cómo poder realizar un portafolio de proyectos es importante para todos aquellos interesados en la administración de proyectos que tengan a cargo la toma de decisiones estratégicas en una organización o a

la vez a miembros de cualquier unidad o equipo de proyectos, gerentes, jefes, clientes y otros involucrados en la administración de portafolios.

La administración del portafolio de proyectos, es un proceso administrativo designado a ayudar a una organización a adquirir y ver información relacionada con todos los proyectos, luego priorizar cada proyecto de acuerdo a ciertos criterios tales como valor estratégico, impacto en recursos, costos, entre otros.

Los objetivos son:

- Identificar, priorizar, autorizar, administrar y controlar para lograr los estratégicos objetivos del proyecto.
- Ser consciente de todos los proyectos listados en el portafolio.
- Desarrollar una visión general y un conocimiento profundo de la colección de proyectos.

Los portafolios pueden contener proyectos y programas. Estos proyectos y programas no necesariamente deben estar interrelacionados o directamente relacionados.

#### **2.1.1.1. Lineamientos considerados para elaborar un portafolio de proyectos de electrificación de comunidades remotas**

- Tener una idea de cada uno de los proyectos y representar una vista de sus componentes. Es recomendable utilizar un diagrama plasmando los proyectos y programas.
- Los proyectos deben reflejar los objetivos estratégicos de la organización.
- Tomar en cuenta procesos para identificar las prioridades de la organización, la toma de decisiones de inversión y la asignación de recursos.
- Conformar un conjunto de componentes actuales o futuras iniciativas planeadas.
- Un punto importante para elaborar los portafolios es la estrategia de la organización, apoyándose en la visión, misión y los objetivos de la planeación estratégica.

Un portafolio de proyectos, es una medida de la dirección y del progreso de los programas y proyectos de la organización, además la administración de portafolio es un medio que ayuda a la toma de decisiones para lograr resultados específicos.

### **2.1.2. Electrificación en comunidades remotas**

La electrificación se considera como una gran ayuda a las actividades productivas, domésticas y comerciales de las comunidades, el propósito es el mejoramiento de las condiciones de vida, tomando en consideración la preservación del medio ambiente. Como consecuencia la electrificación se considera como un elemento estratégico dentro de un marco de trabajo para el desarrollo de las ciudades, pueblos, aldeas, comunidades, y caseríos.

En Guatemala existen más de 500 000,00 viviendas sin electricidad localizadas en lo profundo del área rural, en zonas protegidas y en áreas históricamente marginadas que no tienen acceso a la electricidad, estas comunidades son aquellas que no tienen acceso al servicio de energía eléctrica a través de la red nacional interconectada. Generalmente su interconexión no es viable técnica ni financieramente.

El servicio de energía en estas zonas rurales se caracteriza por una baja cobertura (muy poca población), baja calidad (confiabilidad y disponibilidad), altas pérdidas técnicas y precios altos, existe la cultura del no pago y usuarios con muy bajo nivel de ingresos, la iniciativa de electrificación rural en zonas ambientalmente sensibles es un mecanismo promotor del desarrollo limpio, que ofrece beneficios inmediatos y directos, pero la principal fortaleza radica en la permanencia de los beneficios al lograr una implementación exitosa. Es una modalidad de trabajo altamente incluyente combinando los usuarios finales, cooperantes, entidades de gobierno o no gubernamentales y todos los que tengan participación en este tipo de proyectos.

### **2.1.3. Energías renovables**

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales que se supone son inagotables, ya sea por la gran cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. En Guatemala existe una Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable Decreto 52-2003 y un Acuerdo Gubernativo No.211-2005 que contiene el Reglamento de la ley en mención, estas leyes hacen que este tipo de proyectos sean más viables y exista una mayor atracción a la inversión. Entre las energías renovables se encuentran:

- Hidráulica
- Eólica
- Solar
- Geotérmica
- Biomásica

#### **2.1.3.1. Energía hidráulica**

Es la energía que se obtiene principalmente de las corrientes de agua de los ríos. La gravedad hace que el agua fluya de un terreno más alto a uno más bajo, creando una fuerza que pueda ser usada para hacer mover una turbina y producir energía eléctrica.

#### **2.1.3.2. Energía eólica**

La energía eólica es considerada como una forma indirecta de la energía solar, puesto que el sol, al calentar las masas de aire, produce un incremento de la presión atmosférica y con ello, el desplazamiento de estas masas a zonas



de menor presión. Así se da origen a los vientos como un resultado de este movimiento, cuya energía cinética puede transformarse en energía útil, para bombeo de agua, generación de energía, entre otras.

#### **2.1.3.3. Energía solar**

Es aquella que proviene del aprovechamiento directo de la radiación solar y de la cual se obtiene calor y electricidad. El calor se obtiene mediante colectores térmicos, y la electricidad a través de paneles fotovoltaicos. Dada la posición geográfica de Guatemala, se cuenta con radiación solar durante casi todo el año, lo que hace un país ideal para esta forma de generar energía.

#### **2.1.3.4. Energía geotérmica**

Es la energía procedente del calor acumulado en la corteza terrestre, que puede ser utilizada para la producción de calor y de energía eléctrica a partir del vapor natural de la tierra.

#### **2.1.3.5. Energía biomásica**

La biomasa se entiende como el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible.

## 2.2. Investigación preliminar para la solución del proyecto

El propósito es buscar información suficiente para tener varias opciones para poner en marcha un proyecto.

### 2.2.1. Selección de comunidades

En Guatemala el índice de cobertura eléctrica departamental, según el Ministerio de Energía y Minas para el 2010 se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I. Cobertura eléctrica departamental MEM 2010

<b>COBERTURA ELECTRICA DEPARTAMENTAL 2010</b>			
<b>Departamento</b>	<b>Hogares</b>	<b>Usuarios</b>	<b>INDICE</b>
GUATEMALA	799,771	772,067	96.5%
SACATEPEQUEZ	72,125	69,092	95.8%
QUETZALTENANGO	181,126	168,716	93.1%
SOLOLA	74,470	67,978	91.3%
EL PROGRESO	39,501	35,790	90.6%
TOTONICAPAN	88,170	79,358	90.0%
SAN MARCOS	186,118	160,431	86.2%
SANTA ROSA	79,553	68,544	86.2%
HUEHUETENANGO	191,868	164,056	85.5%
JALAPA	57,804	49,235	85.2%
JUTIAPA	103,726	87,552	84.4%
RETALHULEU	63,380	53,483	84.4%
ZACAPA	59,118	49,706	84.1%
CHIMALTENANGO	118,549	99,156	83.6%
SUCHITEPEQUEZ	104,337	82,650	79.2%
CHIQUMULA	79,327	61,549	77.6%
ESCUINTLA	171,039	132,522	77.5%
IZABAL	79,115	58,243	73.6%
QUICHE	160,998	112,666	70.0%
BAJA VERAPAZ	58,222	39,876	68.5%
PETEN	108,110	55,581	51.4%
ALTA VERAPAZ	185,791	63,867	34.4%
<b>INDICE A NIVEL NACIONAL</b>	<b>3,062,219</b>	<b>2,532,118</b>	<b>82.7%</b>

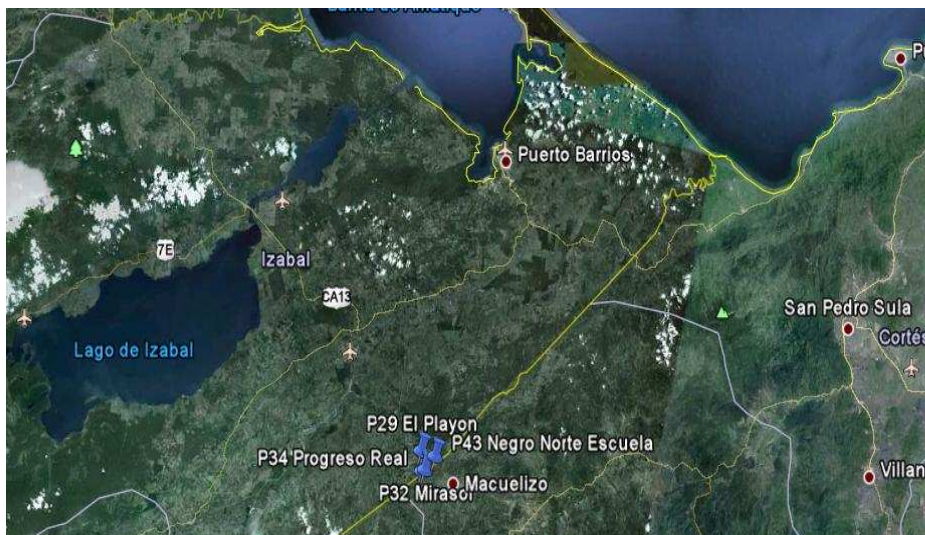
Fuente: tabla cobertura eléctrica departamental MEM.

Los departamentos con menos cobertura son Izabal, Quiché, Baja Verapaz, Petén y Alta Verapaz, siendo este último el menos electrificado, como se observa, cuatro de estos departamentos son del norte del país por lo que nos concentraremos en esa zona en particular, específicamente en el municipio de Morales Izabal en la Sierra Caral, que es una zona topográficamente compleja y con muchos microclimas donde predomina la abundante pluviosidad, y una rica biodiversidad. Es una región con baja cobertura eléctrica. Por sus problemas de precipitación pluvial y abundantes ríos, es la zona con mayor dificultad de acceso.

Las comunidades de Negro Norte Arriba, Negro Norte Abajo, Mirasol y Progreso Real se encuentran en el complejo montañoso de Sierra Caral el cual es fuente proveedor de agua para las comunidades aledañas de los municipios de Morales y Los Amates, así como de las aldeas y caseríos que se encuentran ubicados en el país vecino de Honduras; además de ser una valiosa fuente de agua ha sido suministro de madera, leña, especies de animales de caza y especies de flora para consumo y elaboración de sus viviendas.

Las cuatro comunidades se encuentran hacia el noreste de Sierra Caral en la cuenca del río Bobos a una altura de 900 a 1200 msnm, su bioma es un bosque muy húmedo subtropical cálido (Bmh-S(c)); por lo que hace las tierras aptas para el cultivo de café de baja altura.

Figura 1. **Ubicación comunidades**



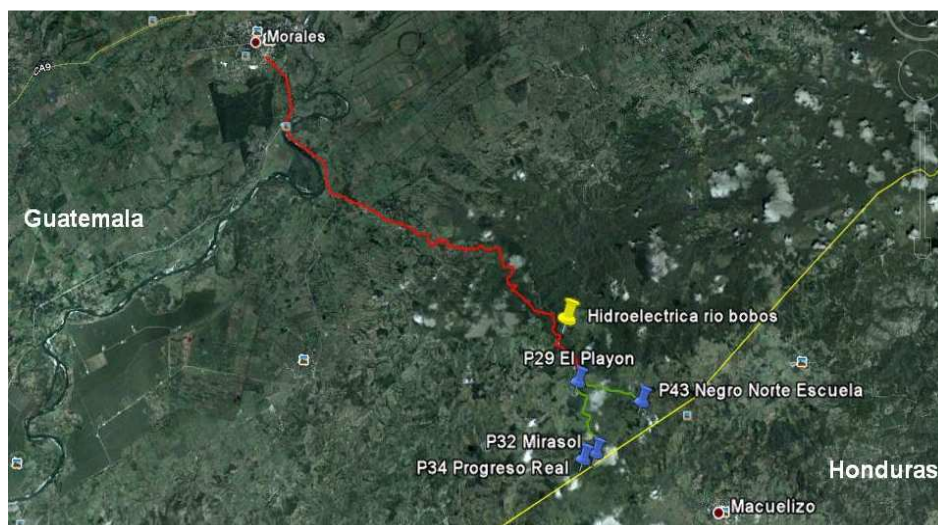
Fuente: elaboración propia, con referencia imagen Google Earth. Consulta: 5 de septiembre del 2012.

### **2.2.2. Acceso a las comunidades**

El acceso a las comunidades es de Morales llegando a Switch Quebradas, luego se pasa a la finca privada San Silvestre, atravesando el río Bobos pasando por la Presa Fábricas (Hidroeléctrica río Bobos), todo el recorrido tiene una distancia de 25 Km en donde el camino es accesible y se puede llegar en vehículo, desde este punto se debe caminar hacia las comunidades El Playón, Mirasol, Progreso Real, Negro Norte Arriba y Negro Norte Abajo, donde la mayor parte del camino son veredas. Es necesario contar con permiso por parte de los administradores de finca Quebradas y San Silvestre poder pasar con vehículo propio, ya que no existe transporte público.

Otro acceso es por la República de Honduras, a través del municipio de Azacualpa, departamento de San Rosa, accediendo por la comunidad El Aguacate.

Figura 2. **Rutas de acceso comunidades**



Fuente: elaboración propia, con referencia imagen Google Earth. Consulta: 5 de septiembre del 2012.

### **2.2.3. Organización de las comunidades**

Las cuatro comunidades tienen una historia de migración en el área proveniente de otros departamentos (Chiquimula) y algunos del país vecino de Honduras. Su principal fuente de ingreso es la ganadería, en terrenos propios, los cuales no están legalizados, el nivel de ingresos por familia es aproximadamente en un rango de Q 500,00 – Q 2 000,00 mensuales según la prospección realizada, esto dependiendo del nivel de vida que posea cada familia ya que las comunidades de Progreso Real y Mirasol están catalogadas

como comunidades pobres y Negro Norte Arriba y Abajo son comunidades no tan pobres, debido a sus ingresos.

En el aspecto organizativo las autoridades, en cada comunidad son principalmente los conocidos Comités pro mejoramiento, o Consejos de Desarrollo que han sido paulatinamente transformados en Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES), siendo la figura principal el alcalde comunitario, las funciones principales del COCODE son la formulación, gestión e implementación de distintos proyectos de beneficio comunal, apoyar los procesos de legalización de tierras, participar en capacitaciones sobre liderazgo y gestión comunitaria, entre otros.

Existen los grupos de mujeres los cuales su máxima representación es a través de la presidenta del mismo, para trabajar de la mano con el COCODE y la Oficina Municipal de la Mujer.

Alrededor de estos grupos giran las comisiones de trabajo de cada comunidad, que son establecidas de acuerdo a las necesidades de cada una. Las comisiones más frecuentes son: comisión de padres de familia, comisión de agua potable quienes se encargan de las gestiones para la introducción, funcionamiento y mantenimientos de los sistemas de agua potable a nivel comunal, para esto los beneficiarios aportan una cuota mensual por el servicio del agua la cual es destinada para el mantenimiento de los tanques de captación y distribución, así como la tubería.

En lo que respecta a los ingresos familiares se puede decir que las cuatro comunidades se encuentran catalogadas como pobres, principalmente por la ubicación en un alto grado de pendiente que hace las tierras no aptas para la agricultura; sin embargo ellos practican agricultura de subsistencia en terrenos

generalmente no aptos para la agricultura limpia por lo que la producción de maíz y frijol se ve limitada por la dificultad del terreno. Poseen la producción de café de sombra orgánico y ganadería. Es importante señalar que el cultivo de café ofrece una buena alternativa de ingreso por las condiciones climáticas ideales para estas comunidades, la experiencia indica que por varios años los pobladores han tenido ingresos aceptables comparados con los de granos básicos.

Así también en estas comunidades la ganadería extensiva es importante para la economía familiar, ya que además de la venta de ganado en pie, se obtienen subproductos como leche, queso, y crema para consumo familiar y para la venta de excedentes, también hay crianza de aves de corral, cerdos, caprinos y equinos, los cuales representan un ingreso sustancial a los habitantes.

#### **2.2.4. Infraestructura y servicios de la región**

Las viviendas son generalmente de techos de lámina y construcción de madera, aunque existen algunas viviendas que poseen infraestructura de block, en las cuatro aldeas poseen una iglesia católica y una escuela.

#### **2.2.5. Servicios básicos**

El agua que poseen es entubada y distribuye en un 80 % a las viviendas de las comunidades, no poseen energía eléctrica, obteniendo su iluminación con keroseno, cera y diesel; aunque algunos con mayor ingreso económico poseen paneles solares y/o plantas de combustible.

A pesar del denominador común de pobreza en las comunidades en los últimos años se ha mejorado la cobertura de algunos servicios como: escuelas primarias, agua potable, letrinas, estufas ahorradoras de leña, silos para almacenamientos de granos básicos, promotores de salud, caminos secundarios de acceso en época seca, en las comunidades Negro Norte Abajo y Negro Norte Arriba cuentan con el servicio de beneficiado y secado de café húmedo para productores de la región y un empaque industrial elaborado con mano de obra de mujeres de las comunidades.

#### **2.2.6. Recursos naturales renovables en Sierra Caral**

En 1989 la Reserva Hídrica y Forestal Sierra Caral fue catalogada como Área de Protección Especial según la Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89) del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Después de un riguroso proceso de análisis, discusión y consultas con un diverso grupo de actores involucrados (comunidades, propietarios de fincas madereras, ganaderos, autoridades municipales, representantes del sector gubernamental y no gubernamental, grupo de apoyo de la sociedad civil), se logró consensuar una zonificación dividida en cuatro: zona núcleo: 5 734,66 ha, zona de manejo forestal sostenible: 4 352,05 ha, zona de usos múltiples: 13 050,92 ha y zona de amortiguamiento: 12 751,14 ha, haciendo un total de 35 888,77 hectáreas.

A partir del segundo semestre de 1999 la Fundación para el Desarrollo y la Conservación (FUNDAECO), empezó a tener presencia en el área. Por tal razón esta entidad es la encargada de administración de Sierra Caral.



### **2.2.7. Clima y zona de la región**

Los registros más cercanos a la reserva hídrica y forestal Sierra Caral, son los proporcionados por la estación meteorológica de Puerto Barrios, que se encuentra aproximadamente a 40 km. de la parte más alta de la sierra. La precipitación media anual ha sido de 2,900 mm y distribuida en 212 días de los meses de mayo a enero, con una estación seca marcada de marzo a mayo; las temperaturas máximas y mínimas absolutas son de 36 °C y 14 °C, respectivamente, siendo la temperatura media de 26 °C; la humedad relativa media anual ha sido del 83 % y la evapotranspiración media anual de 1,668 mm.

La zona de vida del área según el sistema Holdridge es Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido (bmh-ST) y según el sistema Thornthwaite es cálido con invierno benigno sin estación seca bien definida. De acuerdo a lo anterior y a la precipitación media anual, se puede establecer que Sierra Caral es una de las áreas cálidas más lluviosa de Guatemala y constituye el más grande remanente de esta zona de vida.

La parte más baja del área de Sierra Caral se encuentra a 10 metros sobre el nivel del mar y la cima a 1 221 metros en el lugar conocido como Cerro Pozo de Agua. Esto evidencia que en una distancia relativamente corta hay diferentes microclimas que mantienen una importante biodiversidad, es decir desde los humedales del valle del Motagua hasta las laderas escarpadas en la parte alta de la sierra.

### **2.2.8. Hidrología**

El abastecimiento con agua dulce es sin lugar a dudas, el más valioso recurso que la reserva hídrica y forestal Sierra Caral tiene, provee a la población del sureste de Izabal (zona fronteriza con Honduras). Por muchos años esta área ha proveído del recurso agua a muchas de las comunidades asentadas en la cordillera del Merendón,

La Sierra Caral es atravesada por ocho ríos principales que son: Bobos, quebrada Grande, Las Animas, río Negro, quebrada Guerrero, Frío, Plátanos y Nuevo Cacao, además de incontables nacimientos y quebradas que forman micro cuencas y subcuentas que finalmente alimentan la gran cuenca del Río Motagua.

### **2.3. Presentación de la solución al proyecto**

Según el estudio de prospección de los apéndices, las comunidades cuentan con condiciones de recursos naturales y características técnicas, sociales y financieras para poder realizar proyectos renovables para generar energía, aunque con la información recabada los indicadores se inclinan al desarrollo de proyectos solares e hidráulicos ya que las comunidades cuentan con una ventana solar importante gran parte del día y la mayoría de meses del año y existen ríos cercanos a las comunidades con un caudal importante en la época de sequía.

Para poder desarrollar el portafolio de proyectos se tuvo como base la información recabada en las cuatro comunidades, en donde fueron evaluadas las características socio cultural, demanda de proyecto energético, organización social y liderazgo, infraestructura social, actividades económicas, infraestructura

productiva, aspectos ambientales, certeza jurídica de la tenencia de la tierra, electrificación, y potencial en fuentes de energía renovable.

El portafolio de proyectos contiene a las cuatro comunidades y cada comunidad tendrá uno o más proyectos según las condiciones naturales que tenga para el desarrollo del mismo.

### **2.3.1. Potencial de energía renovable en la región**

Sierra Caral tiene una diversidad de flora y fauna y es una zona cálida húmeda, por lo que tiene un buen potencial para desarrollo de proyectos solares e hidráulicos, y los datos recabados en la prospección lo confirman, por lo que se descartara un proyecto geotérmico ya que en la región no existe potencial para el desarrollo del mismo como se puede ver en el anexo 2. También descartaremos proyectos eólicos ya que según los pobladores el viento no se manifiesta con tanta fuerza en la región también lo podemos constatar en la tabla del MEM de potencial de densidad de energía eólica anexo 3.

Según los pobladores de la región la ventana solar es muy buena y de hecho hay un par de paneles solares funcionando en la comunidad de Negro Norte Abajo, para uso de personas particulares y existía un panel comunal para la escuela, pero por falta de mantenimiento se averió. No se puede dejar de mencionar que fue NRECA quien dono el panel solar comunal para la escuela hace más de 10 años, por lo que ya existe un índice de uso de ese tipo de tecnología. En el anexo 4 según estudios del MEM la ventana solar de la región de Sierra Caral es de aproximadamente entre un rango de 4.5 a 5.5 KWh/m<sup>2</sup>/día. Estos datos también los podemos corroborar con la ayuda de un software en un sitio web que proporciona la NASA, con el cual por medio de la

latitud y longitud del sitio se puede medir la radiación solar, este software desglosa una tabla donde se encuentra la radiación solar del sitio medido los doce meses del año. A partir de esa información se puede sacar un promedio de la radiación solar durante el año y también se puede hacer un estimado de cuáles son los meses con mayor ventana solar, como se presenta a continuación.

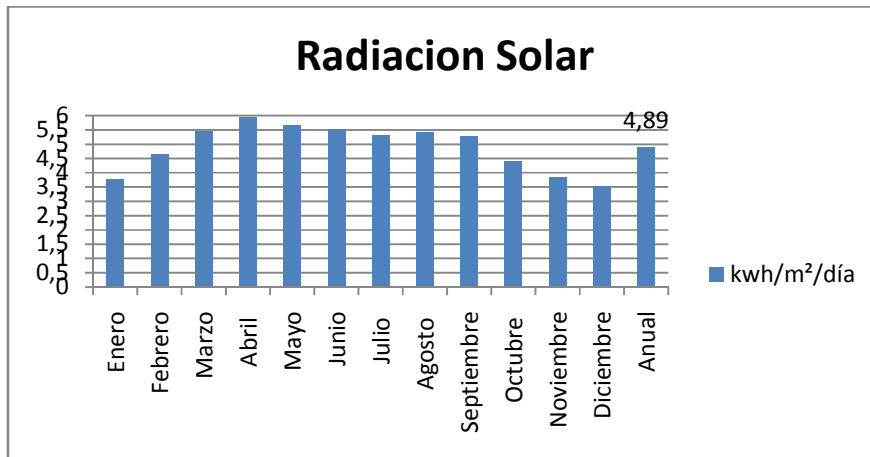
Radiación solar según datos de las tablas NASA superficie, meteorología y energía solar del anexo 6. Como las comunidades están relativamente cerca los datos de las tablas para las cuatro comunidades es el mismo y se muestra a continuación.

Tabla II. **Radiación solar diaria-horizontal**

<b>Mes</b>	<b>kwh/m<sup>2</sup>/día</b>
Enero	3,76
Febrero	4,64
Marzo	5,44
Abril	5,94
Mayo	5,64
Junio	5,5
Julio	5,31
Agosto	5,42
Septiembre	5,27
Octubre	4,39
Noviembre	3,85
Diciembre	3,51
<b>Anual</b>	<b>4,89</b>

Fuente: elaboración propia, según datos de la tabla anexo 6.

Figura 3. Radiación durante el año de las comunidades



Fuente: elaboración propia.

Tomado en cuenta que la región con más índice de radiación solar de Guatemala está entre los 6.0 a 7.0 kWh/m<sup>2</sup>/día se puede decir que las cuatro regiones tienen una aceptable radiación solar, por lo que es viable poder desarrollar un proyecto de energía solar.

Por otro lado, recorriendo alrededores de la región, cerca de las aldeas de Negro Norte Abajo y Negro Norte Arriba existe un río con un caudal significativo para el estudio de un proyecto hidráulico que podría proporcionar energía para las dos aldeas antes mencionadas, este río tiene el nombre de Quebrada del río Bobos y según los pobladores el río en época de verano mantiene un caudal significativo por lo que haciendo los estudios necesarios también se podría desarrollar un proyecto de este tipo. La región tiene varios ríos cercanos donde se podría considerar proyectos hidráulicos para electrificar muchas más aldeas como se muestra en el anexo 5. Pero para poder desarrollar un proyecto hidráulico se necesita de un estudio mucho más profundo como estudios de factibilidad, de perfectibilidad, estudios ambientales,

por lo que para efectos de este trabajo de graduación se descarta un proyecto de este tipo.

Como se pudo constatar en la región según lo sondeado y la información recabada lo más ideal y económico para las cuatro aldeas es diseñar un sistema solar, ya que existe una importante radiación solar la mayoría de meses del año, también están los antecedentes con el manejo de este tipo de tecnología ya que algunos pobladores han tenido contacto con la misma y saben cómo manejarla, por lo que sería más fácil enseñarles cómo hacer el mantenimiento adecuado para que los sistemas tengan una larga vida útil.

### **2.3.2. Sistemas de energía fotovoltaica**

Tiene como componente fundamental, uno o varios paneles fotovoltaicos (FV) quienes cumplen el objetivo de transformar la radiación solar en electricidad. La electricidad generada es corriente continua (CC). Dependiendo del panel o del método de conexión el voltaje oscila entre 5 y 900 voltios.

#### **2.3.2.1. ¿Qué es el sistema fotovoltaico?**

El sistema fotovoltaico (FV) o más conocido como panel solar es la forma de generar energía eléctrica a través de la radiación solar, es decir convierte la luz del sol directamente en electricidad, la que se almacena en una batería para utilizarla cuando sea necesario, se llama sistema fotovoltaico porque está compuesto de varios equipos para que funcione correctamente.

### **2.3.2.2. Diseño del tamaño de las celdas solares**

Para conocer el tamaño del panel solar que se debe utilizar en un sistema FV se debe saber el consumo de los dispositivos eléctricos que se conectarán con la energía producida por el sistema FV. Con el fin de diseñar el tamaño adecuado del panel para el sistema FV se tiene que considerar resultados representados por valores de energía como potencia, tensión, corriente, iluminación, tiempo y otras unidades de medida. La unidad de medida de la potencia es el vatio (W). La unidad de energía adoptada en los estudios de energía es el Joule (J) ( $1\text{J} = 1\text{Watt} \cdot \text{s}$ ), El tiempo  $t$ , se puede medir en años, días, horas y segundos. Los valores de la radiación solar se suelen dar en  $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ , el cálculo de energía consumida se efectúa teniendo tanto la superficie como la duración de la producción del empleo de la energía considerada. La electricidad se representa por razones prácticas por amperios-hora (Ah).

A la hora de calcular el tamaño de una celda FV se debe considerar el rendimiento cuando incide la radiación solar en su cédula, esta transforma la energía solar en electricidad, con un rendimiento del 10 %. El valor exacto lo da el fabricante para cada tipo de cédula y puede ser inferior o superior a ese porcentaje. Por lo que si el rendimiento de la celda es del 10 % mencionado, esto implica que únicamente el 10 % del total de la energía solar recibida se convierte en energía eléctrica.

El tamaño del sistema fotovoltaico está dado en Watt Pico (Wp). Esta es la salida máxima de un panel fotovoltaico bajo condiciones normales que son a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  y  $1\,000\text{ Watt}/\text{m}^2$  de irradiación. La fórmula supone una eficiencia del sistema de aproximadamente 8 % que se basa en la eficiencia del panel (10 %) y la eficiencia de la batería (8 %). Otro dato que se

asume es la potencia proporcional de los paneles por metro cuadrado de 100 Wp. El cálculo para determinar el tamaño de un sistema fotovoltaico es utilizando la siguiente fórmula:

$$Ar = 1200 \times Ed / Id$$

Donde:

Ar: tamaño del panel (Wp)

Ed: consumo de electricidad (kwh/día)

Id: irradiación (kwh/m<sup>2</sup>/día)

En la fórmula anterior el factor para calcular el tamaño del sistema no es 1000 (que significaría una eficiencia del sistema de 10 %) sino 1 200 porque la eficiencia del sistema es siempre un poco más baja que la eficiencia del panel.

Ejemplo: se definirá un diseño básico de sistema fotovoltaico partiendo de que cada casa tendría una potencia instalada de aproximadamente 75 W, que se desglosaría de la siguiente manera:

2 lámparas eficientes 11 W

1 televisor pequeño 45 W

1 radio de 15 W

Si en cada casa se tendrá la potencia de 75 W que funcione 4 horas al día, la demanda de electricidad será 75 W x 4 horas = 0.375 kWh/día, y tenemos que la ventana solar de la región es de aproximadamente en un rango de 4.5 a 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día. Esto significa que para cada casa el tamaño del panel que se requiere es:



$$Ar = 1200 \times (0.375 \text{ kWh/día}) / (5 \text{ kWh/m}^2\text{/día}) = 90 \text{ Wp}$$

Esto es suponiendo que se utilicen todos los aparatos al mismo tiempo y las 4 horas continuas, pero si hacemos un estimado de las horas en que se pueden usar los aparatos por día y sabiendo que no todos los pobladores cuentan con ese tipo de aparatos, este cálculo se hace con respecto a los pobladores que tengan la mayor demanda de energía por lo tanto si tenemos que los aparatos los usan aproximadamente de la siguiente manera:

2 lámparas 11 W: 4 horas por día

Televisor 45 W: 2 horas por día

Radio 15 W: 2 horas por día

Se tiene:

22 Wx4 horas = 88 Wh

45 Wx2 horas = 90 Wh

15 Wx2 horas = 30 Wh

La suma será 0.208kWh/día por lo que el nuevo cálculo quedaría:

$$Ar = 1200 \times (0,208 \text{ kWh/día}) / (5 \text{ kWh/m}^2\text{/día}) = 49.92 \text{ Wp}$$

Por lo tanto se podría usar para cada casa un panel de 50 Wp, si en dado caso algún poblador requiera más energía podrá ampliar su capacidad poniendo otro panel solar y ampliando la capacidad de almacenamiento.

### **2.3.2.3. Cantidad de energía eléctrica producida**

Los sistemas FV para generar energía eléctrica dependen del tipo y cantidad de módulos instalados, de su inclinación y orientación, y de la radiación solar. La potencia nominal en Wp o kWp de los módulos indica la energía que producirá el panel en medio día de un día soleado, en estas condiciones un módulo de 50 Wp de potencia nominal producirá 50 Wh de energía si durante una hora recibe esa radiación máxima, el resto del día, en que la radiación es menor, la potencia real será menor.

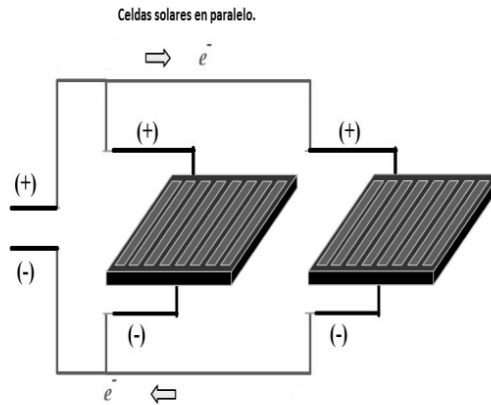
### **2.3.2.4. Componentes de un sistema FV**

Los componentes de un sistema FV son:

#### **2.3.2.4.1. Panel solar**

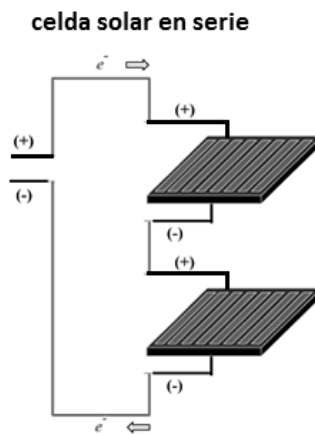
Los parámetros que determinan la producción de energía eléctrica de los paneles es su orientación e inclinación junto con su rendimiento y su potencia nominal. Los paneles generan electricidad y se pueden conectar en paralelo y en serie para poder obtener la tensión nominal requerida como se muestra en la figura. 1 y 2.

Figura 4. **Panel solar en paralelo**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

Figura 5. **Panel solar en serie**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

Los módulos se constituyen por células fotovoltaicas de silicio mono cristalino o poli cristalino, y la mayoría de ellas aseguran la producción de energía desde el primero hasta el último rayo de sol aprovechando así toda la radiación suministrada por el sol.

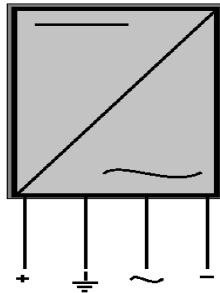
#### **2.3.2.4.2. Soporte de un panel solar**

Los soportes de los paneles son de dos tipos; de los que van a ser instalados en tejado si la arquitectura de la casa así lo permite o los que necesitan de una estructura de soporte, las estructuras de soporte deberían cumplir con ciertas condiciones como: la resistencia a las sobre cargas de viento o cualquier otro elemento climático, también permitirán la necesaria dilatación térmica sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, el diseño de la estructura se hará con la orientación y el ángulo de inclinación especificado por el generador fotovoltaico teniendo en cuenta el montaje y desmontaje y la posible sustitución de elementos, y será diseñada para eliminar las necesidades de mantenimiento y prolongar su vida útil.

#### **2.3.2.4.3. Inversor**

El inversor permite la conversión de la energía eléctrica generada en DC a electricidad de CA. La tensión generada por el inversor es senoidal y se obtiene mediante la técnica de modulación de ancho de pulsos. Un microcontrolador determina el tipo de onda que se genera a partir de una tabla de valores disponibles en la memoria auxiliar del sistema. De esta manera se hace trabajar a los transistores de efecto de campo de metal-oxido-semiconductor MOSFET de potencia a una frecuencia de conmutación de 20 kHz con lo que se consigue la forma senoidal de muy baja distorsión, menor del 1 % y con un contenido de armónicos bajo.

Figura 6. **Inversor**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Paint.

#### **2.3.2.4.4. Cableado**

En un sistema FV los negativos y positivos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa para conductores eléctricos (NEC), los conductores tendrán que ser de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Para cualquier condición de trabajo los conductores en la parte de CC deberían tener la sección adecuada para que la caída de tensión sea menor que 1,5 % y en la parte de CA sea de 2 % teniendo en los dos casos como referencia las tensiones correspondientes de cajas de conexión. Los cables que estén en el exterior se instalarán bajo tubo metálico y los interiores bajo canaleta, los empalmes se realizarán con accesorios para tal efecto utilizando cajas de derivación cada vez que sea posible.

#### **2.3.2.4.5. Protección**

Para realizar un sistema FV un aspecto de suma importancia son las protecciones, pues su objetivo es proteger a las personas y sus cosas, también mantener el nivel de calidad de servicio del sistema FV, se puede poner un

interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte continua de la instalación.

#### **2.3.2.4.6. Puesta a tierra de un sistema FV**

Las puestas a tierra se ponen con el objetivo de limitar la tensión que con respecto a la tierra puedan representar en algún momento las masas metálicas, asegurar la respuesta de las protecciones y disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado. La puesta a tierra se adoptará con la conexión de una varilla de cobre de 3 metros y de 5/8 de pulgada por cada módulo FV.

#### **2.3.2.4.7. Como funciona un sistema fotovoltaico**

Primero comenzamos con el panel solar, este recibe la radiación solar en sus celdas y las convierte en energía eléctrica, esta energía es transportada a través de los cables que van desde el panel hasta la batería pasando por el regulador de carga, el regulador controla la corriente que llega a la batería y mediante las luces indicadoras permite saber si la batería se encuentra cargada o descargada, el regulador también protege a la batería de posibles cortos circuitos, sobrecargas y sobre descargas sin el regulador de carga el sistema no puede funcionar y también ayuda a que la batería dure más tiempo.

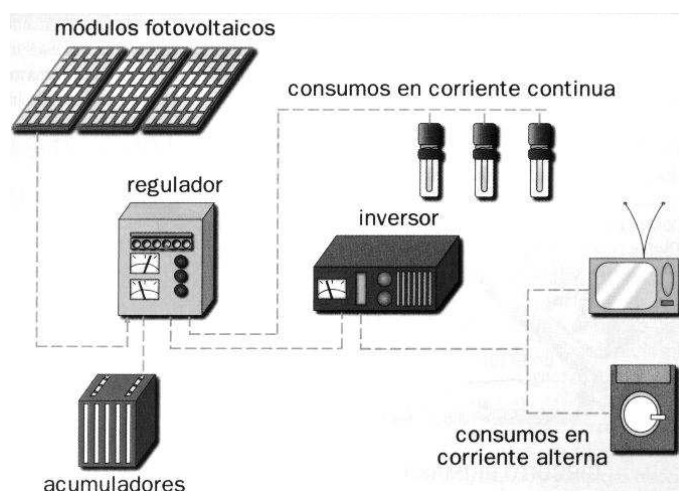
La batería es el depósito donde se almacena la energía eléctrica que llega del panel solar, para usar la energía de la batería tiene que pasar nuevamente por el regulador de carga y de ahí se pueden conectar directamente lámparas, celulares y otros aparatos, pero para poder usar radios pequeños que funcionan a pilas la energía tiene que pasar por el convertidor de

voltaje, el conversor de voltaje sirve para controlar el voltaje que se necesita con este se pueden utilizar aparatos de 2, 4 o 6 pilas, para los pequeños aparatos que usan 12 V se usan tomas directas, y finalmente las lámparas que no son como los focos normales que se venden en las tiendas son especiales por que consumen poca energía y duran varios años estas solo funcionan con la conexión de los paneles solares, como se puede ver el sistema fotovoltaico está compuesto por varios elementos que son importantes y especiales y con los cuales hay que tener mucho cuidado.

#### 2.3.2.4.8. Esquema de un sistema FV

El esquema o diagrama es el mapa que guía a todo electricista debe interpretar para llevar a la realidad lo que está en papel. El esquema que se muestra a continuación muestra como se conecta un sistema FV en grandes rasgos.

Figura 7. Esquema de un sistema FV



Fuente: guía para calcular el consumo eléctrico doméstico.

#### **2.3.2.4.9. Mantenimiento y cuidados de los sistemas FV**

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es muy importante porque depende del mantenimiento que se dé a los elementos del sistema para alargar la vida útil de estos. Los paneles solares requieren de un mantenimiento casi nulo o muy escaso esto debido a su propia configuración ya que no tienen partes móviles y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector, sin embargo, es conveniente hacerle una inspección general una vez al año asegurándose de la conexión entre panel y regulador de carga estén bien ajustados y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles pero en caso de ser necesario simplemente se puede utilizar agua y algún detergente no abrasivo.

El regulador por la misma simplicidad del equipo reduce el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas, sin embargo, las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del funcionamiento del regulador; comprobación de la conexión y cableado y observación de los valores del multímetro.

La batería es el elemento que requiere mayor mantenimiento y eso dependerá en gran medida de su duración, el mantenimiento que se le debe hacer es una comprobación del nivel del electrolito cada 6 meses aproximadamente ya que debe tener del margen comprendido entre las marcas de máximo y mínimo y si no tiene estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada. Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería; debe limpiarse de posible depósitos de



sulfato y cubrir con vaselina todas las conexiones. El convertidor no requiere de ningún mantenimiento en específico.

## **2.4. Costos y recuperación de la inversión**

El costo de proyectos con energía solar requieren de una inversión inicial elevada, ya que es una tecnología que aún no es tan comercial en el mundo, pero da una ventaja, que la vida útil de un panel solar es mayor a los 20 años, lo que puede dar un tiempo largo de recuperación de la inversión.

El periodo de recuperación de la inversión es un dato importante donde se puede evaluar un proyecto de inversión. Por facilidad de cálculo y aplicación, el período de recuperación de la inversión es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo.

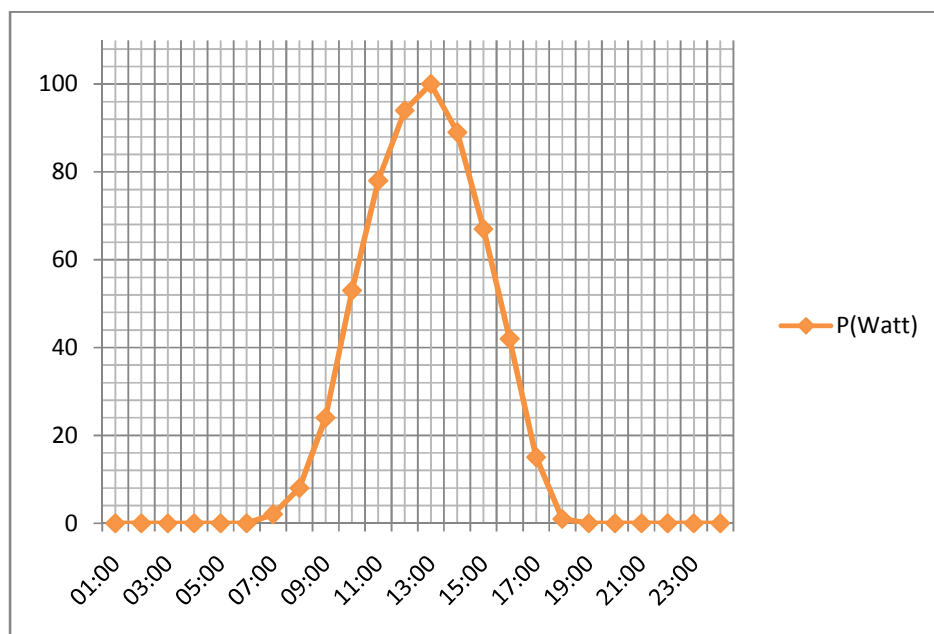
### **2.4.1. Cálculo de la producción anual esperada de energía**

Un generador FV tiene un período de operación que está en función de la cantidad de radiación solar que pueda incidir en la superficie de la celda FV. El período de operación de un panel FV es aproximadamente de las 7:00 a.m. a las 17:00 p.m. horas, su capacidad de generar electricidad irá aumentando conforme aumenta la cantidad de insolación durante el transcurso de la mañana.

Un sistema FV define la capacidad en las salidas del inversor en Wp dicha capacidad determina la cantidad máxima de potencia en watts que el sistema FV podrá generar, la potencia pico de un sistema FV se alcanza cuando los módulos les llega la mayor cantidad de insolación dentro de un

intervalo de operación, esto se puede ver en la gráfica de la figura 8, donde se muestra la curva de operación de un sistema FV, el cual está diseñando para producir 100Wpa la salida del inversor. El panel marca Unitec, con un voltaje de 16.5 voltios y 6.1 amperios de corriente máxima. Antes de las 7:00 a.m. la producción de energía del sistema es prácticamente nula, pero a partir de esa hora comienza a elevarse conforme transcurre la mañana debido al aumento de la radiación sobre la superficie del panel, la máxima radiación solar se da entre 12:00 a.m. 1:30 p.m. coincidiendo con la producción máxima de potencia, conforme la radiación solar va en descenso, también la potencia del sistema como se ve en la figura 8.

Figura 8. **Curva de generación de un sistema FV**



Fuente: elaboración propia.

La energía esperada por el sistema FV se puede calcular estudiando la curva de generación y estableciendo para cada hora de las 10 que opera, la cantidad de energía obtenida como se ve en la tabla siguiente.

Tabla III. **Energía promedio durante un día soleado**

Hora	Rango de Potencia (W)	Potencia promedio (W)	Energía (Wh)
7:00 a 8:00	2-8	5	5,0
8:00 a 9:00	8-24	16	16,0
9:00 a 10:00	24-53	38,5	38,5
10:00 a 11:00	53-78	65,5	65,5
11:00 a 12:00	78-94	86	86,0
12:00 a 13:00	94-100	97	97,0
13:00 a 14:00	100-89	94,5	94,5
14:00 a 15:00	89-67	78	78,0
15:00 a 16:00	67-42	54,5	54,5
16:00 a 17:00	42-15	28,5	28,5
			563,5

Fuente: elaboración propia.

La producción de energía producida por un día es: 0,5635 Kwh/día

La producción de energía producida por un mes es:

$$(0,5635\text{kwh/día})(30\text{días}) = 16,905 \text{ kwh/mes}$$

Pero la energía de todo un año es (16,905 kwh/mes) (12 meses)

Entonces la energía esperada durante un año será:

$$\text{Producción anual de energía} = 202,86\text{kwh/año}$$

#### **2.4.2. Costo de un sistema fotovoltaico**

El costo para poder adquirir un sistema FV depende de varios factores como los precios internacionales del mercado FV, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos, la ubicación y la demanda energética de los usuarios, las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética en cuanto a calidad, cantidad y capacidad. La distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema en cantidad de kilómetros por recorrer en vehículos todo terreno, en vehículos normales, en bestia o caminando, y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos generalmente entre un 10 a 30 % son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que un usuario final invertiría para llevar luz a su vivienda. El costo de un sistema FV individual típico para aplicaciones domesticas se estima entre US\$ 800 y US\$1 000 el cual incluye los equipos el transporte y la instalación, donde los montos de mayor relevancia son 30 % que corresponde al módulo FV y un 15 % a la batería, al inversor, al transporte y mando de obra respectivamente, sin embargo la experiencia dice que para viviendas rurales muy lejanas y con vías de acceso difícil el costo de transporte suele ascender del 15 al 30 % del costo inicial.

Los costos totales de un sistema FV pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Costo de inversión
- Costo de mantenimiento
- Costo de reemplazo

Los costos de inversión son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte, e instalación de los sistemas

fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70-75 % del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema FV completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad se estima entre 15 a 25 años.

Los costos en operación y mantenimiento son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema FV. Normalmente el mantenimiento de los sistemas FV no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente los paneles FV y el reemplazo oportuno del agua de las baterías, por lo que el costo de mantenimiento son muy bajos y representan un 3 a 5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

Los costos de reemplazo son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil, generalmente esto sucede después de 3 a 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga y descarga a los que fue sometida la batería. Estos costos representan un 20 a 27 % de los costos totales del sistema a lo largo de toda la vida útil.

Se sabe que la radiación solar varía cada año así como también el consumo de electricidad. Por lo consiguiente aunque se haya calculado cuidadosamente el tamaño del sistema, pueden surgir ciertas carencias con el tiempo.

Teniendo ya el cálculo del panel a utilizar el diseño básico para cada casa será con base a los siguientes componentes:

- 2 panel solar de 50 Wp
- 1 regulador de 8 A

- 1 batería de 1000 Ah
- 1 convertor de voltaje
- 100 metros de cables aproximadamente
- 2 tomas de corriente
- 2 lámparas eficientes de 11 W
- 1 estructura metálica
- 1 base de cemento

Este tipo de diseño garantizará el funcionamiento de tres a cuatro horas de iluminación al día en dos cuartos diferentes, tres horas de televisión por día, y 6 horas de radio mediana por día. Este es un diseño básico para cada vivienda, con eso podrán iluminar dos espacios fundamentales como son la cocina y el cuarto principal y tener una toma de corriente en cada ambiente para usos múltiples.

**Tabla IV. Presupuesto proyecto Negro Norte Abajo**

Materiales	No de material	Costo (US\$)
Panel solar de 50 Wp	2	\$720
Regulador de 8 A	1	\$80
Batería de 1000 Ah	1	\$120
Convertor de voltaje	1	\$50
Metros de cable	100	\$20
Tomas de Corriente	2	\$5
Lámparas eficientes de 11 W	2	\$40
Estructura metálica	1	\$10
Base de cemento	1	\$10
No de familias	37	\$1,055
	<b>Total</b>	<b>\$39,035</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla V. Presupuesto proyecto Negro Norte Arriba**

Materiales	No de material	Costo (US\$)
Panel solar de 50 Wp	2	\$720
Regulador de 8 A	1	\$80
Batería de 1000 Ah	1	\$120
Convertor de voltaje	1	\$50
Metros de cable	100	\$20
Tomas de Corriente	2	\$5
Lámparas eficientes de 11 W	2	\$40
Estructura metálica	1	\$10
Base de cemento	1	\$10
No de familias	15	\$1,055
	<b>Total</b>	<b>\$15,825</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla VI. Presupuesto proyecto Mirasol**

Materiales	No de material	Costo (US\$)
Panel solar de 50 Wp	2	\$720
Regulador de 8 A	1	\$80
Batería de 1000 Ah	1	\$120
Convertor de voltaje	1	\$50
Metros de cable	100	\$20
Tomas de Corriente	2	\$5
Lámparas eficientes de 11 W	2	\$40
Estructura metálica	1	\$10
Base de cemento	1	\$10
No de familias	56	\$1,055
	<b>Total</b>	<b>\$59,080</b>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla VII. Presupuesto proyecto Progreso Real**

Materiales	No de material	Costo (US\$)
Panel solar de 50 Wp	2	\$720
Regulador de 8 A	1	\$80
Batería de 1000 Ah	1	\$120
Convertor de voltaje	1	\$50
Metros de cable	100	\$20
Tomas de Corriente	2	\$5
Lámparas eficientes de 11 W	2	\$40
Estructura metálica	1	\$10
Base de cemento	1	\$10
No de familias	38	\$1,055
	<b>Total</b>	<b>\$40,090</b>

Fuente: elaboración propia.



El costo total del portafolio de proyectos tomando en cuenta las cuatro comunidades, con aproximadamente 146 familias que contienen alrededor de 915 personas es de aproximadamente US\$ 154 030,00 con un costo de US\$1 055,00 por vivienda.

Como se puede ver en la cotización anterior el sistema FV tienen un precio considerable que no está al alcance de cualquier familia, y las comunidades mencionadas en este trabajo son consideradas como pobres por lo que no cuentan con el dinero necesario para lograr adquirir este tipo de tecnología. Investigando en el mercado hay una empresa guatemalteca que ofrece un sistema solar con diferentes alternativas llamada Quetsol, que ofrece 2 kits de sistemas FV que son más económicos y también pueden ser una solución para estas comunidades:

#### Kit Q1

#### Especificaciones:

- panel solar de 10w
- caja de control con batería de 7 amperios
- 2 focos LED (tercer foco opcional)
- cargador de celular universal
- 4-5 horas de luz con un día de carga en el sol
- 3 años de garantía

Existe un microfinanciamiento disponible a cuotas de: Banrural – cuotas de Q109,00 mensuales durante 24 meses o bien Q2 100,00 al contado.

## Kit Q2

### Especificaciones:

- Panel solar de 75W
- Caja de control con batería de 85 amperios
- 5 focos LED
- 3 focos LED opcionales
- Invertidor de 800Q con 3 enchufes
- 4-5 horas de electricidad con un día de carga en el sol
- 3 años de garantía

Existe un microfinanciamiento disponible a cuotas de: Banrural – cuotas de Q214,00 mensuales durante 24 meses o bien Q4 150,00 al contado.

Cuentan con ayuda técnica y una garantía de 3 meses, el panel tiene una vida útil de 20 años.

Estos *kits* pueden suplir las necesidades energéticas básicas y medias de las comunidades antes mencionadas y los pobladores pueden escoger el sistema que mejor les convenga económica y funcionalmente a un menor costo que la red tradicional y las alternativas de candelas, leña, diesel, keroseno.

### **2.4.3. Evaluación técnico económica**

Es la determinación de la rentabilidad de un proyecto, mediante uno o más de un indicador a objeto de facilitar el proceso de toma de decisiones. El resultado del indicador se usa como criterio de decisión.

Entre los indicadores más utilizados están: el Valor Presente Neto (VPN), y la Tasa Interna de Retorno o de Rendimiento (TIR).

### 2.4.3.1. Paneles solares

Para calcular la rentabilidad y el período de recuperación de la inversión, es necesario conocer los ingresos y egresos que se tendrán dentro del período de vida útil de la instalación, la cual se ha determinado en 24 años. La duración de los paneles FV se estiman en 25 años, la vida útil del regulador, inversor, baterías, conmutador, se estima de 8 años con datos entregados por el fabricante.

En este análisis se considera un costo por mantenimiento de US\$1,30 anual ya que si bien los sistemas FV no requieren demasiado mantenimiento si se requiere de un mantenimiento mínimo. También se tiene contemplado el reemplazo de la batería con un costo de US\$128,00

Tabla VIII. **Evaluación económica de un panel solar 1**

Evaluación Económica Panel Solar.				
Año	Inversión	Ingresos / ahorros	Costo de Mantenimiento	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
0	-1055,00		0,00	-1.055,00
1	-	191,00	-6,50	184,50
2	-	191,00	-6,50	184,50
3	-	191,00	-6,50	184,50
4	-	191,00	-6,50	184,50
5	-	191,00	-6,50	184,50
6	-	191,00	-6,50	184,50
7	-	191,00	-6,50	184,50

Continuación de la tabla VIII.

8	-	191,00	-6,50	184,50
9	-	191,00	-6,50	184,50
10	-	191,00	-6,50	184,50
11	-	191,00	-6,50	184,50
12	-	191,00	-134,00	57,00
13	-	191,00	-6,50	184,50
14	-	191,00	-6,50	184,50
15	-	191,00	-6,50	184,50
16	-	191,00	-6,50	184,50
17	-	191,00	-6,50	184,50
18	-	191,00	-6,50	184,50
19	-	191,00	-6,50	184,50
20	-	191,00	-6,50	184,50
21	-	191,00	-6,50	184,50
22	-	191,00	-6,50	184,50
23	-	191,00	-6,50	184,50
24	-	191,00	-6,50	184,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resultados evaluación económica 1**

Interés	VAN(\$)	TIR (%)	TR
15%	\$108,20	16,75%	13,95

Fuente: elaboración propia.

Viendo el análisis económico del costo y tiempo de recuperación de la inversión con un 15 % anual de interés, se tiene un tiempo de recuperación de la inversión de aproximadamente 14 años con una VAN de \$108,20 lo que indica que el proyecto puede aceptarse ya que la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad. Esto dará 10 años de uso del panel solar

ahorrándose mensualmente los US\$16 que darían por 14 años para pagar su sistema FV, esto quiere decir que durante 10 años podrán disfrutar de energía gratuita en donde podrán ahorrarse el dinero.

Si las comunidades pudieran negociar este proyecto con la municipalidad o alguna organización internacional o nacional que les pudiera apoyar con el 50 % del costo de la obra se tendría:

Tabla X. **Evaluación económica de un panel solar 2**

Evaluación Económica.					
Año	Inversión	Ingresos/ahorros	Costo de Operación	Costo de Mantenimiento	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
0	-527,50		-	0,00	-527,50
1	-	100,00	-	-6,50	93,50
2	-	100,00	-	-6,50	93,50
3	-	100,00	-	-6,50	93,50
4	-	100,00	-	-6,50	93,50
5	-	100,00	-	-6,50	93,50
6	-	100,00	-	-6,50	93,50
7	-	100,00	-	-6,50	93,50
8	-	100,00	-	-6,50	93,50
9	-	100,00	-	-6,50	93,50
10	-	100,00	-	-6,50	93,50
11	-	100,00	-	-6,50	93,50
12	-	100,00	-	-134,00	-34,00
13	-	100,00	-	-6,50	93,50
14	-	100,00	-	-6,50	93,50
15	-	100,00	-	-6,50	93,50
16	-	100,00	-	-6,50	93,50
17	-	100,00	-	-6,50	93,50
18	-	100,00	-	-6,50	93,50
19	-	100,00	-	-6,50	93,50
20	-	100,00	-	-6,50	93,50

Continuación de la tabla X.

21	-	100,00	-	-6,50	93,50
22	-	100,00	-	-6,50	93,50
23	-	100,00	-	-6,50	93,50
24	-	100,00	-	-6,50	93,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Resultados evaluación económica 2**

Interés	VAN(\$)	TIR (%)	TR
15%	\$50,23	16,65%	13,3975732

Fuente: elaboración propia.

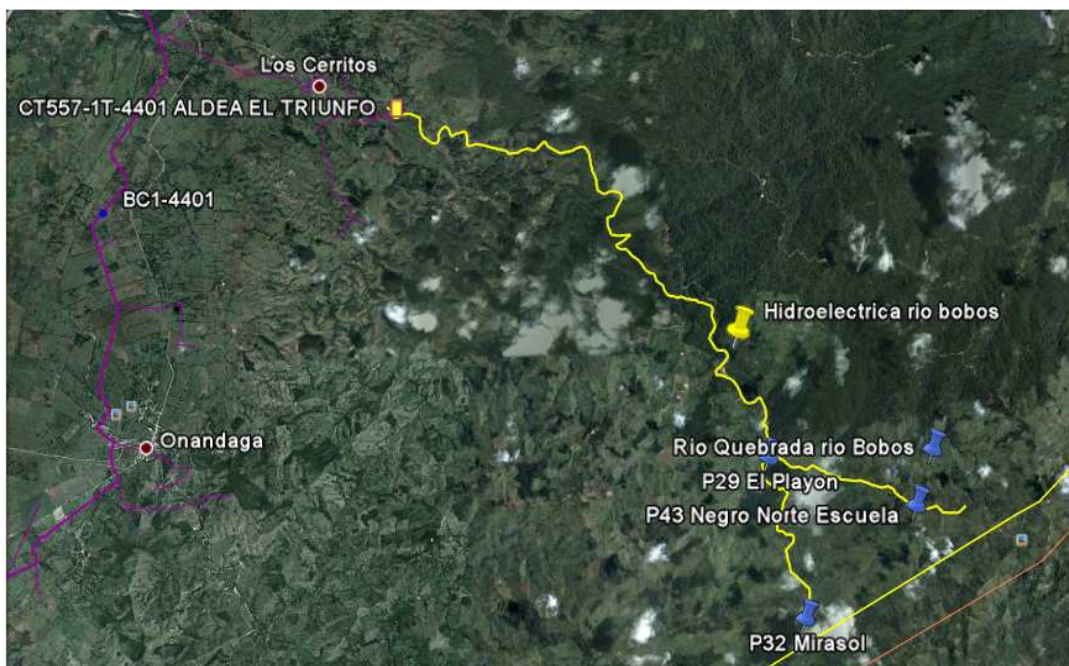
Aquí el panorama se pinta de otra manera, definitivamente sería más económico para los comunitarios poder pagar una mensualidad de \$9 por el costo del sistema FV, se tendrían similares condiciones recuperarían la inversión en 14 años a una tasa de 15 % y les quedarían 10 años de energía gratuita, se podría tener una modalidad de préstamo sobre saldo para que los comunitarios que tengan la oportunidad de aportar una mayor cantidad de dinero para pagar el sistema FV en menor tiempo.

#### **2.4.3.2. Línea convencional**

Se tomará en cuenta una evaluación económica para el ingreso de línea de media tensión a las comunidades, aunque de antemano se sabe que este es un proyecto que requiere mucho más inversión se deja como una opción para tener un estimado de la inversión que se tiene que hacer para llevar energía convencional en las comunidades.

Como se puede observar en la figura, se tiene la aldea El Triunfo que es el punto más cercano de conexión a las comunidades de Sierra Caral, se dibujó un posible trayecto de la línea de distribución, llevándola por el camino que conduce a las comunidades, este trayecto tiene una distancia aproximada de 20 kilómetros. Cabe mencionar que el presupuesto es un estimado solo para poder darse una idea del precio de construcción de línea de media y baja tensión, este costo no incluye el iva, esto tampoco quiere decir que el proyecto pueda ser viable ya que el costo puede elevarse por permisos de paso, permisos forestales, ya que estos no van incluidos en el presupuesto solo es una aproximación del costo de construcción de línea.

Figura 9. Trazo de línea de media tensión para llegar a comunidades



Fuente: elaboración propia, con referencia imagen Google Earth.

Consulta: 10 de septiembre del 2012.

En la siguiente tabla se presenta un presupuesto del costo estimado de construcción de línea convencional.

Tabla XII. **Presupuesto construcción de línea convencional de energía eléctrica**

<b>COMUNIDAD</b>	Comunidades Sierra Caral
<b>MUNICIPIO</b>	Morales
<b>DEPARTAMENTO</b>	Izabal
<b>VOLTAJE KV</b>	34,5
<b>USUARIOS</b>	146
<b>Kms de Línea MT</b>	20
<b>Kms de Línea BT</b>	5
<b>KVAs a instalar</b>	80
<b>CCTT 10KVA</b>	8
<b>COSTO DE DISEÑO (Q)</b>	Q25 550,00
<b>Costo de Construcción</b>	Q1 571 700,00
<b>Costo Total</b>	Q1 597 250,00
<b>Costo Total</b>	\$203 471,34

Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla, la inversión que hay que hacer para ingresar línea de media tensión es demasiado alta, a esto hay que sumarle que Sierra Caral tiene muchos terrenos como áreas protegidas, y para ingresar a las comunidades hay que atravesar dos fincas privadas, esto también podría encarecer el proyecto.



#### **2.4.4. Financiamiento del proyecto**

Tomando en cuenta que estas comunidades son de escasos recursos y no podrían pagar un proyecto de este tipo, se podría buscar ayuda por medio de los COCODES a la municipalidad u organizaciones gubernamentales y no gubernamentales tales como NRECA internacional que cuenta con un fideicomiso con el cual se puede acceder a préstamos con facilidades de pago, haciendo que los pobladores puedan conformar comités de energía eléctrica en el cual puedan cobrar un monto de energía mensual para el pago y mantenimiento de sus equipos. La población obtendría otros beneficios como capacitación a personas que se puedan encargar del mantenimiento de los equipos ya que NRECA cuenta con una amplia experiencia en el manejo de este tipo de tecnologías.

#### **2.5. Beneficios del proyecto**

Los hechos muestran que la electrificación es un pilar importante y no el fin del desarrollo. La energía eléctrica es una herramienta que contribuye al desarrollo, siempre que se use en forma segura, eficiente y productiva.

En la actualidad los beneficios que una comunidad obtiene cuando tiene la oportunidad de tener energía eléctrica no se pueden cuantificar con exactitud, ya que son tantas las actividades que se pueden desarrollar teniendo este recurso, que definitivamente es un beneficio para cualquier población, pero entre los mayores beneficios para este tipo de comunidades que tienen un difícil acceso y están aislados del desarrollo, es la oportunidad de tener más horas productivas en el transcurso del día, aprovechar la tarde-noche para asistir a la escuela para poder tener la mañana libre para los trabajos cotidianos en el campo, la oportunidad de estar comunicados con parientes, amigos o contactos

de negocios cargando el teléfono celular diariamente, poder prender un radio o televisor y distraerse un par de horas por día. También están los beneficios económicos y de salud ya que se mejorará la calidad e intensidad de iluminación por el aumento de 12 lúmenes de una candela a 600 lúmenes que puede proveer una lámpara de 20 watts. Asimismo, se ha reducido a pequeñas cantidades las emisiones de humo por la sustitución de candelas y candiles de keroseno, mejorando el ambiente interior de los hogares.

Los proyectos FV traen otros beneficios para este tipo de comunidades ya que la instalación es simple y requieren de poco mantenimiento, tiene una vida útil larga, resiste condiciones climáticas extremas, y se puede aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos FV.

Teniendo un presupuesto estimado se puede hacer una evaluación económica con respecto a los 24 años que se tuvieron con la evaluación económica de los paneles.



### **3. FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE**

#### **3.1. Capacitación propuesta**

Para la capacitación en las comunidades se desarrollarán módulos de capacitación sobre aspectos técnicos, de administración y organización, y sobre consideraciones ambientales. Estos módulos serán desarrollados en cada comunidad, con la presencia de todos los vecinos y especialmente con aquellos líderes de las comunidades como los COCODES, comités de agua, comités de mujeres, aunque sería conveniente organizar un comité de energía para que sean ellos quienes tengan la responsabilidad de capacitarse y saber más del cuidado y manejo del equipo.

Las capacitaciones serán realizadas antes o durante el desarrollo de proyecto para que cuando los usuarios tengan el sistema FV puedan tener el conocimiento de cómo se usan los sistemas fotovoltaicos correctamente, que sepan que es lo que se puede y no se puede hacer para que su sistema FV funcionen correctamente.

Las capacitaciones se harán en las comunidades, requiriendo de transporte, material didáctico para la capacitación y documentos que serán distribuidos a todos los participantes. Igualmente se estarán pegando afiches en los lugares públicos mostrando las rutinas de mantenimiento de los equipos.

### **3.1.1. Material elaborado**

El material que se estará proporcionando se dará con la finalidad de que sirva a los pobladores como una guía, que permita enseñarles una correcta operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos por parte de los usuarios. El manual tendrá explicaciones muy breves que darán recomendaciones para el cuidado de los sistemas fotovoltaicos.

El manual tendrá los siguientes temas: conceptos generales de los componentes de un sistema fotovoltaico, funcionamiento de un sistema fotovoltaico, recomendaciones a realizar para los cuidados.

### **3.1.2. Manual de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos**

Conceptos generales de los elementos que componen un sistema fotovoltaico.

- Panel solar: el panel solar es el encargado de transformar la energía que emite el sol para transformarla en electricidad.
- Regulador: el regulador controla y distribuye toda la electricidad
- Convertidor: el convertidor permite tener varios niveles de voltaje para poder conectar aparatos que tengan distinto nivel de voltaje para funcionar, como radios o grabadoras.
- Batería: la batería almacena la electricidad en el día para poder usarla en la noche.

- Sistema de distribución: son los cables que permiten llevar la electricidad desde el panel para que la batería lo almacene y cuando se quiera usar llevarlo hasta las lámparas y tomas de corriente.
- Lámparas: son las que proporcionan la iluminación.
- Tomas de corriente: son los elementos que nos permites conectar nuestros aparatos cómodamente en un lugar seguro para no tener accidentes.

Como funciona un sistema fotovoltaico.

En el sistema fotovoltaico su principal fuente de energía es la radiación solar o luz solar, esta luz se refleja en el panel el cual tiene un conjunto de celdas fotovoltaicas que sirven para producir energía eléctrica, la electricidad producida en el panel es conducida por medio de cables de conducción de energía hacia el regulador, el regulador tienen como función suministrar a la batería la electricidad en forma constante para que esta se pueda cargar, el regulador también indica cuando la batería está cargada o descargada.

Luego que la batería está cargada al momento de querer utilizarla esta pasa nuevamente por el regulador haciendo la misma función, proporcionando a los aparatos que estén conectados electricidad de forma constante para poder tener una iluminación constante, que el radio no se apague a cada momento o la tele funcione a medias, el convertidor tiene la función de tener varios niveles de voltaje para poder conectar radios pequeños de baterías, cargadores de celular, grabadoras o cualquier aparato que utilice pilas para su funcionamiento.

Recomendaciones a realizar para los cuidados de los elementos de los sistemas fotovoltaicos.

Para los cuidados en todos los elementos que componen el sistema FV se tienen los siguientes consejos:

- Panel solar: cuidar el panel regularmente de la suciedad ya que impide una buena generación de electricidad, se puede lavar el panel cada 15 días con agua, y luego secar con un trapo suave. Cualquier sombra hace el panel no funcione correctamente por que genera menos electricidad no se debe permitir la presencia de objetos sobre el panel, no se deben plantar árboles cerca del panel ya que con el tiempo podría llegar a sombrearlos, no golpear el panel ni con pelotas, fichas o piedras ya que se puede dañar.
- Regulador: el regulador protege de cortos circuitos a todo el sistema, el regulador hace que la batería dure más tiempo. No se debe extraer el regulador del sistema ya que si lo hace podría causar graves daños a la batería, solo una persona calificada puede sacar o cambiar el regulador, no permita que el regulador se moje con ningún líquido. No se pueden hacer otras conexiones que no sean hechas por un técnico solo él puede hacer cambios en el regulador, cuando la luz del regulador este en rojo es necesario esperar hasta que la batería tenga buena carga.
- Batería: es necesarios que la batería este protegida esto se puede hacer colocándola sobre una base de madera e instalarla en un lugar donde este ventilado y donde no le llegue el sol. No fumar cerca de la batería, no se debe sentar sobre la batería, no colocar objetos metálicos sobre de la batería, no usar la batería del sistema para encender autos, nunca

debe de desconectar la batería del sistema, puede dañar el regulador. Los bornes deben estar engrasados para evitar que se produzca la sulfatación y pueda tener un buen contacto con las conexiones que realicen. Hay que verificar el líquido de la batería y rellenar si hace falta, con agua destilada hasta su nivel superior, solo se debe añadir agua destilada de las tiendas de baterías, en caso de accidente o daño comunicarse con un técnico o una persona responsable.

- Convertidor: nunca utilizar el convertidor con otros aparatos, evite agregar líquidos en el convertidor, tener mucho cuidado con provocar cortocircuito ya que puede dañar al regulador y al adaptador.
- Lámparas: encender las lámparas solo cuando sea necesario, porque la batería se descarga más rápido cuando hay más lámparas encendidas, cuando tenga que cambiar las lámparas utilice aquellos que sean iguales a las usadas, y tiene verificar que está bien conectado. Limpiar las lámparas con mucho cuidado cuando disminuyan la luminosidad, evite que los niños jueguen con los interruptores. Si desea aumentar una lámpara o cualquier otro equipo, consulte con un técnico, no mueva los equipos del sistema fotovoltaico, llame a un técnico, si existieran construcciones nuevas y es necesario trasladar parte del equipo, consulte con el técnico.

Costos y operación de mantenimiento.

Como se puede observar el costo de mantenimiento de un sistema fotovoltaico es mínimo, a no ser de que se dañe algún elemento del sistema que haya que reemplazar, por lo demás solo se tiene que tener cuidado de hacer un revisión y mantenimiento predictivo y preventivo a la batería y una limpieza



del panel periódicamente, mas sin embargo es recomendable que esto lo haga una persona que esté capacitada para hacerlo, definitivamente contratar a un técnico para que pueda resolver los problemas que se puedan dar en las comunidades sería muy difícil y costoso, ya que solo en el traslado del técnico a las comunidades seria costoso ya que las comunidades son de difícil acceso.

Lo recomendable seria que las comunidades crearán un comité de electricidad y así como en el comité de agua poder desembolsar una cantidad mensual para dar el mantenimiento necesario al equipo. El sistema fotovoltaico no requiere de un mantenimiento mensual más que solo la limpieza de polvo o suciedad del panel, pero las cuotas que se darían mensualmente servirían para tener un fondo de ahorro con el cual se puedan adquirir elementos del sistema fotovoltaico por si en dado caso alguno se llegara a dañar y se pueda remplazar rápidamente. Por supuesto que creando este comité se tendría que capacitar y emplear como mínimo a una persona por cada dos comunidades ya que es mejor que los técnicos sean de la misma región para evitar inconvenientes de traslado y así los problemas se puedan resolver rápidamente. Esta sería una gran ventaja para la comunidad y se estaría creando oportunidades de empleo.

## CONCLUSIONES

1. Según tabla de MEM hay cinco departamentos con menos del 75% de índice de cobertura eléctrica, siendo estos Izabal, Quiché, Petén, Baja Verapaz y Alta Verapaz, como se observa cuatro de estos son del norte del país.
2. Las comunidades de Negro Norte Arriba, Negro Norte Abajo, Progreso Real y Mirasol del departamento de Izabal, son comunidades que reúnen las condiciones que se necesitan para el portafolio de proyectos. Las cuatro comunidades se encuentran aisladas, tienen difícil acceso, y en la zona existe un gran potencial para el desarrollo de proyectos con energías renovables.
3. En las comunidades tienen una buena organización poblacional y existe una radiación solar óptima como se puede ver en el anexo 3, lo cual hace que un proyecto solar sea viable. No se puede descartar poder investigar más a fondo sobre un proyecto hidráulico ya que existen ríos donde se puede hacer estudios de prefactibilidad para el desarrollo de este tipo de tecnologías.
4. Con las condiciones óptimas de radiación solar en la región, se optó por desarrollar un estudio de energía solar, es lo ideal y económico para las comunidades, y también están los antecedentes con el manejo de este tipo de tecnología de algunos pobladores de la región.

5. Como se mostró en el análisis económico se pueden adquirir los sistemas FV a través de préstamos con bajos intereses y cómodas mensualidades para no tener un gran impacto en la economía de las familias.
  
6. Con instituciones como NRECA y con ayuda de la municipalidad se puede obtener un financiamiento para que las familias puedan adquirir un sistema FV para los hogares.

## RECOMENDACIONES

1. Los departamentos con menor índice de cobertura eléctrica son Petén y Alta Verapaz, departamentos que tienen poblados lejanos, de difícil acceso, y una abundante flora y fauna, por lo que se podrían desarrollar investigaciones de proyectos con energías renovables para aumentar el índice de cobertura de la región sin tener gran impacto en la naturaleza.
2. Para poder llegar a las cuatro comunidades es necesario contactarse con los COCODES de las comunidades, para que puedan servir de guía y no perderse en el trayecto hacia las comunidades, también se puede contactar con FUNDAECO ya que ellos tienen bastante conocimiento de la zona.
3. En las comunidades hay una excelente organización poblacional, por lo que convendría organizar un comité de energía, donde los pobladores den una cuota mensual para agenciarse de fondos, poder pagar los equipos y también capacitar a pobladores de la misma región para que puedan darle mantenimiento y hacer reparaciones a los equipos, esto podría funcionar como una pequeña empresa eléctrica municipal dando trabajo a los pobladores.
4. Hacer del conocimiento de los pobladores el aprovechar los meses donde los paneles dan la mayor producción de energía, para poder hacer actividades productivas con la familia y en el centro educativo que le permitan tener desarrollo a las comunidades.

5. NRECA proporcione ayuda técnica y económica a las comunidades con escasos recursos, por lo que se podrían avocar a la institución para concretar una visita anual a las comunidades beneficiadas con el proyecto, con el propósito de dar capacitación a los técnicos y llevar un monitoreo del estado de los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. DIAZ CASTILLO, Oscar Marcelo. *Diseño de un sistema fotovoltaico residencial con capacidad para venta de energía a la red dedistribución*. [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2005 Web: <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0117\\_ME.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0117_ME.pdf)> [Consulta: 18 de junio del 2012].
2. *Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica*. Manual para Empresarios–Sistemas Aislados de Energía Renovable-. [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2008 Web:<<http://www.bunca.org/publicaciones/MEE.pdf>>[Consulta: 17 de junio del 2012].
3. GUARDIOLA PARERA, Roger. *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1.1MW*. [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. Web: <<http://deeea.urv.cat/DEEEA/Iguasch/RogerGuardiola%20PFC.pdf>>2008. [Consulta: 20 de junio del 2012].
4. MIRANDA, Juan. *Gerencia de Proyectos*. [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. 2005 Web: <[http://es.wikipedia.org/wiki/Portafolio\\_de\\_proyectos](http://es.wikipedia.org/wiki/Portafolio_de_proyectos)> ISBN: 9589622739.[Consulta: 12 de junio del 2012].

5. MORALES MONROY, Ana Carolina. *Sistemas Productivos y Recursos Naturales Renovables en Reserva Hídrica y Forestal Sierra Caral, Morales, Izabal.*[en línea]: documenting electronic sources on the Internet. Web: <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1771.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1771.pdf).>[Consulta: 18 de junio del 2012].
  
6. Ministerio de Energía y Minas. *Energías renovables en Guatemala.* [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. Web: <<http://www.mem.gob.gt/viceministerio-del-area-energetica/energias-renovables/recursos-energeticos-renovables>.>[Consulta: 20 de junio del 2012].
  
7. NRECA International, ltd. *Electrificación de comunidades remotas con energías renovables.* [en línea]:documenting electronic sources on the Internet. Web: <<http://appext.sica.int/eepbiWEB/files/1207586908609.pdf>.> [Consulta: 15 de junio del 2012].
  
8. \_\_\_\_\_. *Background & History.* [en línea]: documenting electronic sources on the Internet. Web: <<http://www.nrecainternational.coop/about/background/pages/default.aspx4>.> [Consulta: 15 de junio del 2012].
  
9. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía. *Guía para calcular el consumo eléctrico doméstico.*[en línea]: documenting electronic sources on the Internet. Web: <<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFE/GuiaCalcularConsumo1.pdf2004>.> [Consulta: 16 de junio del 2012].

## **APÉNDICE**

### Apéndice 1

#### **BOLETAS DE PROSPECCIÓN**

##### **Comunidad Negro Norte Abajo**

Esta comunidad se encuentra en coordenadas este 16P317931.00 y coordenadas norte 1696910.98 con una altitud de 938 metros, el número de familias es de 37 con 300 habitantes, todas las casas tienen techo de lámina, las paredes son de madera, y el piso de tierra. Las casas se encuentran dispersas.

A la comunidad se puede acceder desde Mirasol, este camino es una vereda en la cual se puede llegar a pie o en bestia con una duración de 2:30hrs. Existe otra entrada que parte del lugar llamado el playón, el camino es mejor, y también se tiene acceso por el país de honduras por el municipio tras cerros en carro se llega en 40 minutos a esta comunidad.

#### 1. Demanda de proyecto energético

Para la comunidad es prioridad la implementación de un proyecto de generación de electricidad ya que la necesitan para servicios básicos, para la comunicación y educación.



Según los pobladores se mantienen comunicación con la municipalidad de morales para la implementación de algún proyecto hasta ahora solo está en pláticas pero la comunidad expresa el compromiso y aporte comunitario para el desarrollo de cualquier proyecto que se pueda desarrollar.

Los pobladores para alumbrarse en las noches usan candelas y botellas de kerosene y gastan alrededor de Q70 por mes para esos insumos según la prospección realizada.

## 2. Organización social y liderazgo

En la comunidad existe COCODE que entre las actividades desarrolla programas de mejoramiento rural como resultado se obtiene el centro de convergencia, también la Asociación de productores de café FUTUTO Anacafe ha hecho algunas visitas, capacitaciones a través de Fundaeco.

## 3. Infraestructura social

La comunidad cuenta con escuela comunal, centro de convergencia, iglesia católica, e iglesia evangélica.

## 4. Actividades económicas

Entre las actividades esta el cultivo de café que se produce en pergamino y se vende a Honduras, también se cultiva maíz y frijol esto para el consumo propio. La asociación de mujeres productoras de café caral tiene el proyecto de tostado, molido, selladora y vende el café empacado en el muelle de puerto barrios Q25 la libra.

## 5. Infraestructura productiva

La comunidad cuenta con escuela comunal, centro de convergencia, iglesia católica, y iglesia evangélica.

## 6. Aspectos ambientales

El agua entubada existe como proyecto comunal en la parte de arriba, sin embargo en la parte de abajo cada habitante por sus propios medios busca como obtener este líquido vital.

Se tienen bosques naturales, Fundaeco apoya en proyectos de reforestación y conservación de bosques, se quiere trabajar en conjunto con el gobierno de Honduras por estar más cerca de este lugar

## 7. Certeza jurídica de la tenencia de la tierra

La comunidad cuenta con 24 caballerías, con frontera que está en proceso de escrituración, la municipalidad apoya este proceso la comunidad pago aproximadamente Q500 000,00 por la finca.

## 8. Electrificación

En la actualidad no existe proyecto de electrificación ya que han solicitado a la Municipalidad de Morales pero nunca ha procedido.

## 9. Potencial en fuentes de energía renovable.

De octubre a enero es época de nubes, según los comunitarios pasan aproximadamente como 3 días sin sol en esa época, la ventana solar es buena los demás meses aproximadamente de 07:00-17:00 hrs.

Cerca de la comunidad está un río llamado Quebrada de río Bobos que tiene un caudal pequeño aproximadamente como  $1\text{m}^3/\text{s}$  con los puntos GPS 16P318240,74, 1697811,34.

## Apéndice 2

### **Comunidad Negro Norte Arriba**

Esta comunidad se encuentra en coordenadas este 16P318694.30 y coordenadas norte 1696891.45. Esta comunidad se encuentra pegada a la comunidad de Negro Norte Abajo por lo que las dos comunidades tienen las mismas características, solo que Norte Arriba tiene una altitud de 950 metros, el número de familias es de 15 con 120 habitantes, todas las casas tienen techo de lámina, las paredes son de madera, y el piso de tierra. Las casas se encuentran dispersas.

A la comunidad se puede acceder desde Negro Norte Abajo se caminan 30 minutos cuesta arriba, y también se tiene acceso por el país de honduras por el municipio tras cerros en carro se llega en 40 minutos a esta comunidad.

#### 1. Demanda de proyecto energético

Para la comunidad es prioridad la implementación de un proyecto de generación de electricidad ya que la necesitan para servicios básicos, para la comunicación y educación.

Los pobladores para alumbrarse en las noches usan candelas y botellas de kerosene y gastan alrededor de Q70 por mes para esos insumos.

#### 2. Organización social y liderazgo

En la comunidad existe COCODE que entre sus actividades desarrolla programas de mejoramiento rural.

#### 3. Infraestructura social

La comunidad cuenta con escuela comunal, iglesia católica, e iglesia evangélica.

#### 4. Actividades económicas e infraestructura productiva

Entre las actividades esta el cultivo de café que se produce en pergamino y se vende a Honduras, también se cultiva maíz y frijol esto para el consumo propio. La asociación de mujeres productoras de café caral tiene el proyecto de tostado, molido, selladora y vende el café empacado en el muelle de puerto barrios Q25 la libra.

## 5. Aspectos ambientales

El agua entubada existe como proyecto comunal. Se tienen bosques naturales, Fundaeco apoya en proyectos de reforestación y conservación de bosques, se quiere trabajar en conjunto con el gobierno de Honduras por estar más cerca de este lugar.

## 6. Certeza jurídica de la tenencia de la tierra

La comunidad cuenta con 24 caballerías conjuntamente con Negro Norte Abajo, la municipalidad apoya este proceso las dos comunidades pagaron aproximadamente Q500 000,00 por la finca.

## 7. Electrificación

En la actualidad no existe ningún proyecto de electrificación ya que han solicitado a la Municipalidad de Morales pero nunca ha procedido.

## 8. Potencial en fuentes de energía renovable.

De octubre a enero es época de nubes, según los comunitarios pasan aproximadamente como 3 días sin sol en esa época, la ventana solar es buena los demás meses aproximadamente de 06:45-17:00 hrs.

## Apéndice 3

### **Comunidad Mirasol**

Esta comunidad se encuentra en coordenadas este 16P316095.00 y coordenadas norte 1695032.98. Es una aldea con 56 familias con aproximadamente 225 habitantes tienen casas agrupadas y también dispersas, la mayoría de casas son de madera con techo de lamina y algunas casas son de block. Existe un sector donde las casas están agrupadas, pero también hay casas lejanas del centro.

#### 1. Necesidades de un proyecto energético

Los comunitarios comentan que un proyecto de generación de electricidad es prioridad para la comunidad ya que es desarrollo para las familias y la comunidad. La comunidad no está contemplada en los planes de la municipalidad para la ejecución de proyectos de electrificación por estar muy aislados no existe apoyo municipal. La comunidad manifiesta voluntad y compromiso de aporte al proyecto ya que es desarrollo para toda la comunidad.

Los comunitarios cubren la necesidad de energía eléctrica con candelas que cuestan 2 lempiras (Q70) y gastan como 60 candelas al mes, botellas de keroseno que cuestan 20 lempiras (Q25) y gastan 2 botellas al mes, baterías para linternas y radios que cuestan 20 lempiras (Q12) el par.

#### 2. Organización social y liderazgo

En la comunidad existe un COCODE que gestiona proyectos para la comunidad, también existe un comité de agua potable que ayuda al

mejoramiento y mantenimiento del servicio de agua, y hay una asociación conformada por 22 comunidades que gestionan proyectos de mejoramiento para el desarrollo.

### 3. Infraestructura social

En la comunidad existe una escuela comunitaria construida en 1997, es de block, piso de cemento y tienen 2 maestras que trabajan 4 días, también iglesia católica y evangélica.

### 4. Actividades económicas e infraestructura productiva

Las principales actividades de la comunidad es la producción de café que se comercializa en Honduras debido a que es fácil sacar el producto en el vecino país en latas de 35 libras que tienen precio de 380 lempiras.

Tienen producción de maíz y frijol para consumo propio y algunos venden lo excedentes y algunas familias tienen aves de corral también para el consumo propio y hacen trabajos agrícolas y ganan Q45 el día.

### 5. Aspectos ambientales

Alrededor de las casas de habitación existe algunos árboles, el clima es cálido.

### 6. Electrificación

En la comunidad no existe ni se tienen provisto un proyecto de electrificación.

## 7. Potencial en fuentes de energía renovable.

El río bobos en época de verano disminuye su caudal, la ventana solar es buena de 07:00 – 17:00 hrs. En los meses de noviembre a enero existen aproximadamente como 4 días de nubosidad. El viento se incrementa en los meses de noviembre, diciembre y enero.

### Apéndice 4

#### **Comunidad Progreso Real**

Esta comunidad se encuentra en coordenadas este 16315592,00 y coordenadas norte 1694810,00 con una altitud de 618 metros de altura. Es una aldea con 38 viviendas y 390 habitantes. Las casas son de techo de lamina o palma y las paredes de madera, la escuela es de block y techo de lamina, las viviendas están dispersas aproximadamente 100 metros entre casas, partiendo de la aldea Mirasol se camina 20 minutos (1 km) cuesta arriba difícil acceso hasta llegar a la escuela de Progreso Real.

#### 1. Demanda de proyecto energético

Los comunitarios creen que un proyecto de generación de electricidad para la comunidad es indispensable. También cuentan que la comunidad esta en abandono por parte de la municipalidad, y manifiestan la voluntad de compromiso de aporte comunitario al proyecto.



Los comunitarios para alumbrarse en la noche usan candelas, botellas de kerosene, baterías o pilas y gasten al mes aproximadamente Q60 en todos esos productos.

## 2. Organización social y liderazgo

En la comunidad existe un comité de mujeres y un COCODE que por el momento no está en operación.

## 3. Infraestructura social

La comunidad cuenta con una escuela que fue un proyecto de PRONADE en el 2003, tienen un salón comunal que anteriormente era utilizado como escuela y también cuentan con una escuela comunitarios, y los comunitarios han pensado comprar una planta de generación para iluminación.

## 4. Actividades económicas e infraestructura productiva

Las principales actividades es el cultivo de café que se vende en Honduras, cultivan maíz y frijol para el consumo propio, y cuentan con dos tiendas de comercio que abastecen a la comunidad y todos los comunitarios comercializan con Honduras.

## 5. Aspectos ambientales

El área en la que se ubica esta comunidad el 80% está sin árboles, es utilizada para portería, existen arboles alrededor de cada casa, en cuanto a sombra se refiere los arboles en algunos hogares afectan la incidencia solar, en la comunidad existe agua entubada en poliducto.

6. Certeza jurídica de la tenencia de la tierra

La comunidad es una finca nacional que está en proceso de legalización con ayuda de FONTIERRA.

Electrificación

En la comunidad no existe ningún proyecto de electrificación prevista o estudio realizado.

Potencial en fuentes de energía renovable.

Existe un río llamado Bobos, el caudal es moderado río por la hidroeléctrica Río Bobos.

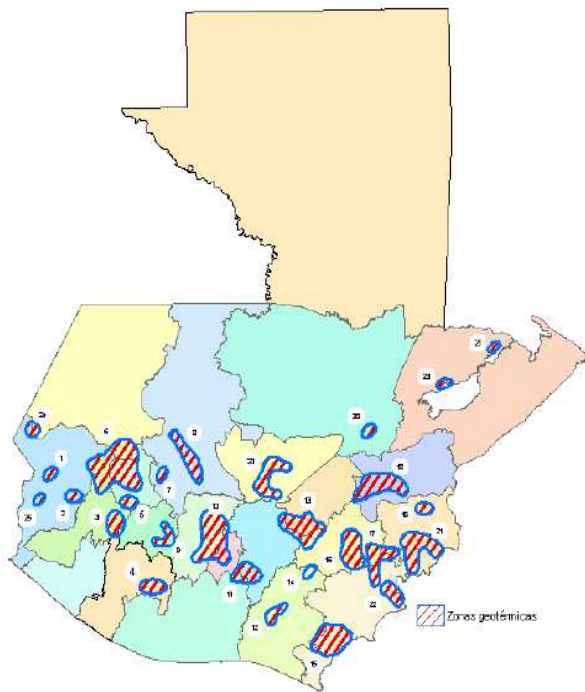
En cuanto al viento existe solo en meses de noviembre, diciembre y enero. La ventana solar es buena de 07:00 a 17:00, en el invierno hay muchas nubes y en ocasiones el sol no se deja ver por 8 días.



## ANEXOS

### ANEXO 1

#### MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS EN GUATEMALA

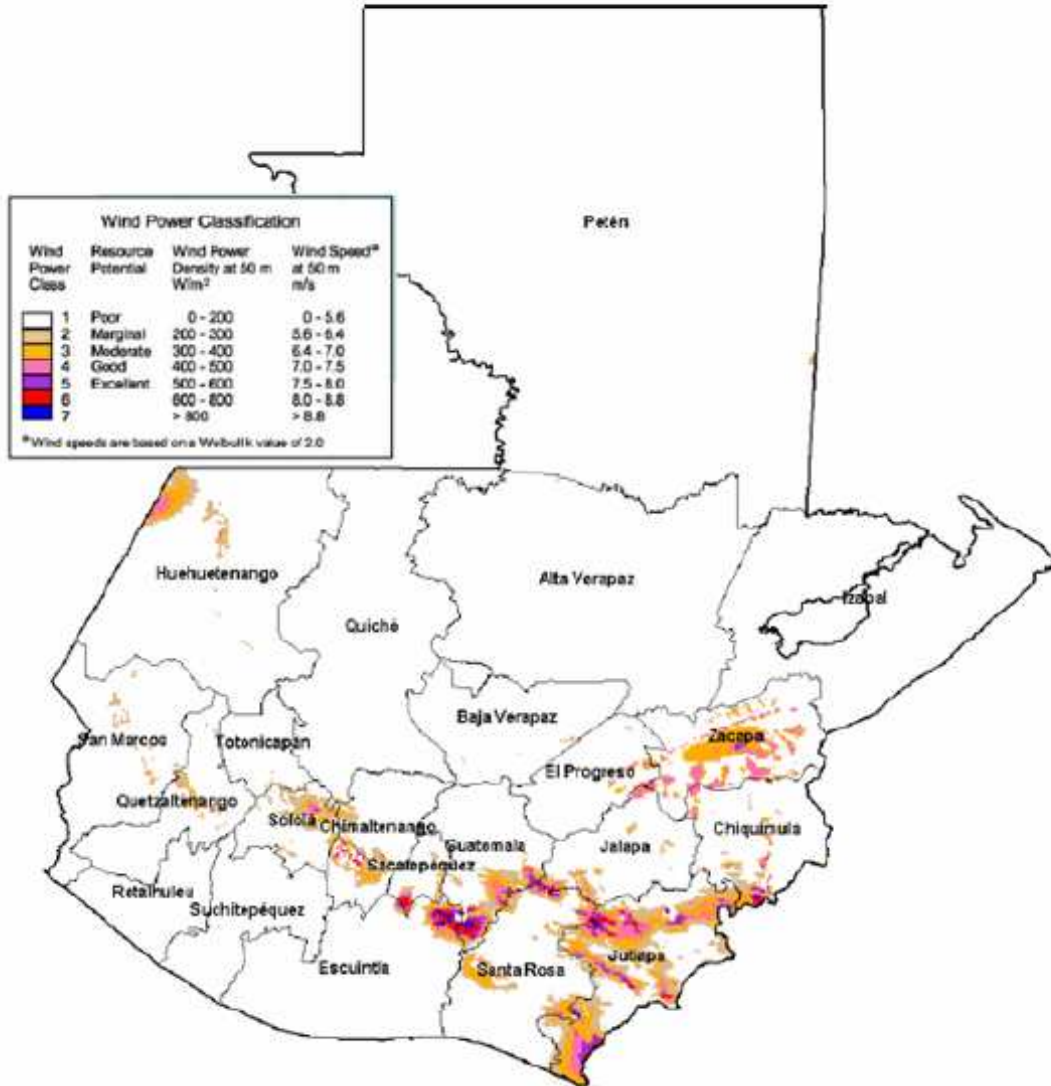


MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS DE GUATEMALA		
Área Geotérmica	Temperatura Superficial °C	Temperatura Deducida °C
1 Tajumulco		
2 San Marcos	87	185(284)
3 Zunil	87	208
4 La Memoria	60	160
5 Totonicapán	49	199
6 Momostenango	95	180 (234)
7 Quiché		
8 Sacapulas-Zacualpa	45	160
9 Atitlán	47	150(195)
10 Chimaltenango	48	185
11 Amatitlán	90	240 (237)
12 Ixpaco	95	205 (195)
13 Sanarate	93	185
14 Ayarza		
15 Moyuta	88	185(193)
16 Monjas	49	160
17 Ipala	64	180
18 Zacapa	86	160
19 Camotán	49	150
20 Granados	87	200
21 Esquipulas	50	221
22 Asunción Mita	94	200
23 Polochic-Agua Caliente		
24 San Marcos-Tacaná		
25 San Marcos-Malacatán		
26 Polochic-Cantún		
27 Polochic-Livingston		

Fuente: zonas geotérmicas MEM.

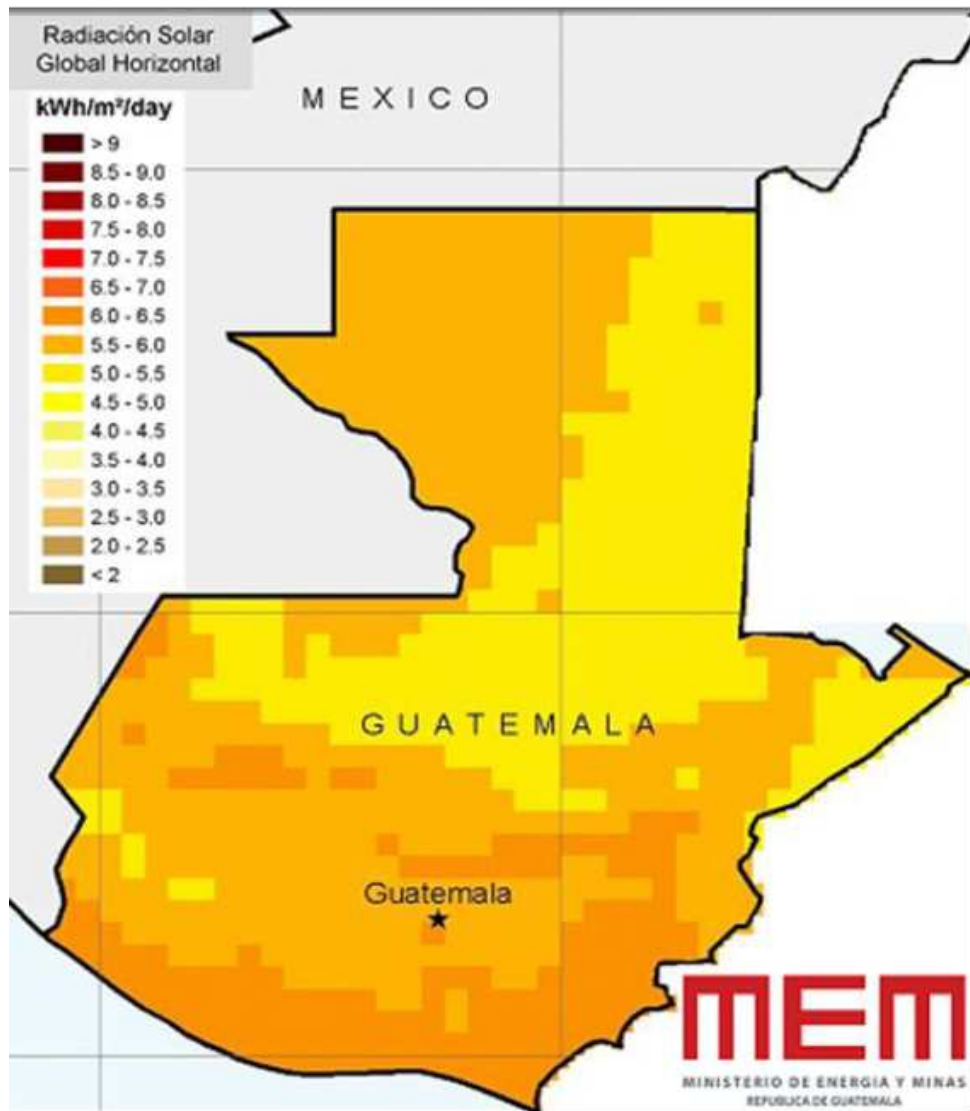
## ANEXO 2

### Potencial de densidad de energía eólica



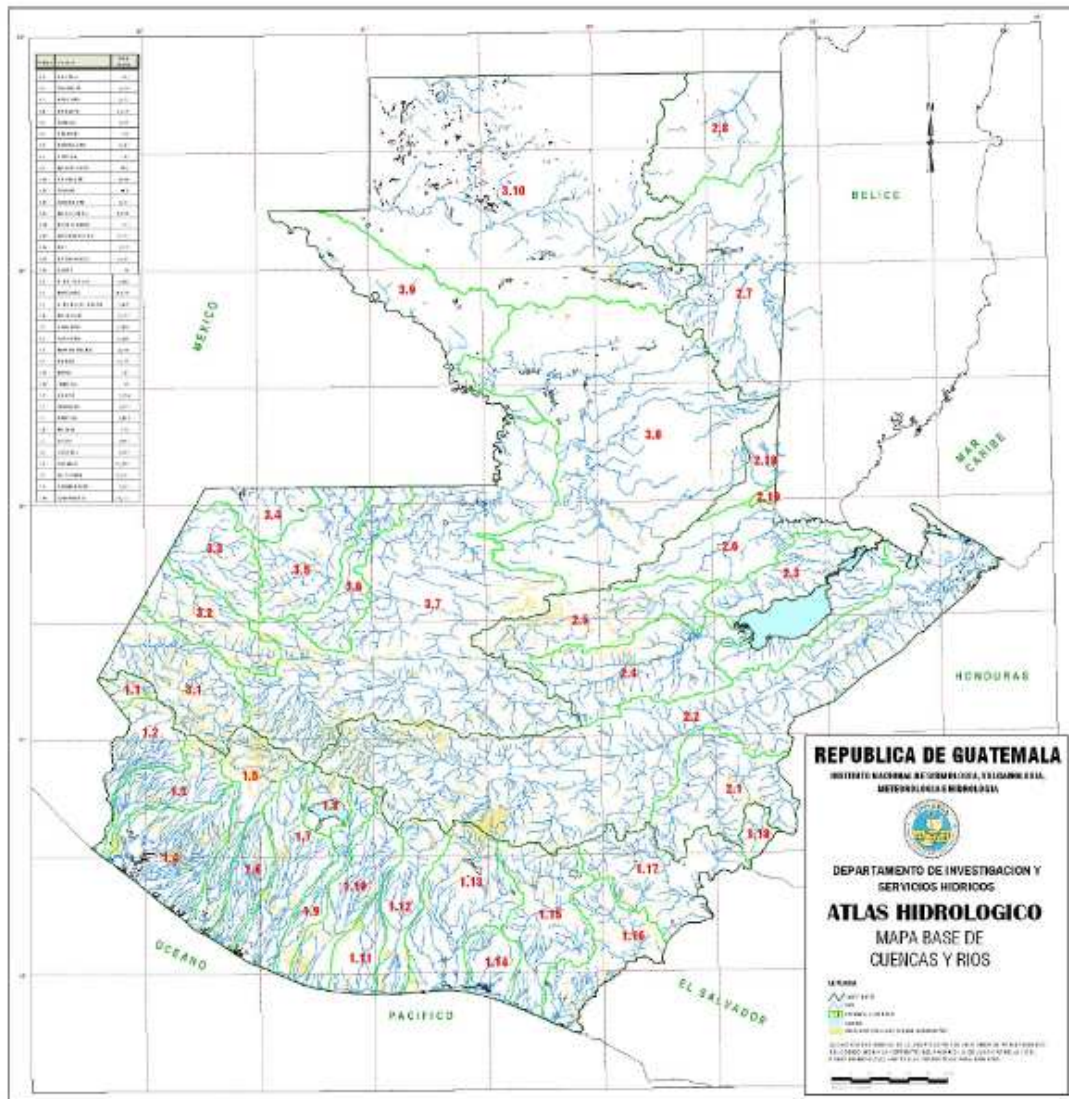
Fuente: densidad de viento MEM.

ANEXO 3



Fuente: radiación solar MEM.

## ANEXO 4



Fuente: mapa de altas hidrológicas, ISIVUME.

## ANEXO 5

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Superficie meteorología y Solar Energy: [RETScreen datos](#)

Latitud 15.342 / Longitud -88.696 fue elegido.

Los datos climáticos ubicación

Unidad	Latitud	Longitud	Elevación	Calafacción temperatura de diseño	Temperatura de diseño de refrigeración	Tierra amplitud térmica	Frost días en el sitio				
N°	15,342		m	466	°C	17,17	°C	30,13	°C	9,09	0

Mes	Temperatura del aire	La humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	La presión atmosférica	Velocidad del viento	Tierra temperatura	Calafacción grados-día	Enfriamiento grados-día
	° C	%	kWh / m <sup>2</sup> / día	kPa	m / s	° C	° Cd	° Cd
Enero	21,2	77,8%	3,76	96,3	3,5	21,5	0	357
Febrero	22,4	72,3%	4,64	96,2	3,4	23,0	0	359
Marzo	24,0	65,3%	5,44	96,1	3,2	25,2	0	441
Abril	25,4	64,4%	5,94	96,0	3,0	27,3	0	467
Mayo	25,3	72,5%	5,64	96,0	2,6	26,7	0	479
Junio	24,7	79,5%	5,50	96,0	2,7	25,4	0	449
Julio	24,2	79,3%	5,31	96,1	2,9	24,8	0	448
Agosto	24,3	79,3%	5,42	96,1	2,6	24,9	0	452
Septiembre	24,3	79,8%	5,27	96,0	2,4	24,8	0	459
Octubre	23,5	81,2%	4,39	96,0	2,7	23,9	0	425
Noviembre	22,4	80,8%	3,85	96,2	3,1	22,7	0	381
Diciembre	21,6	79,9%	3,51	96,3	3,5	21,7	1	367
<b>Anual</b>	<b>23,6</b>	<b>76,0%</b>	<b>4,89</b>	<b>96,1</b>	<b>3,0</b>	<b>24,3</b>	<b>1</b>	<b>5064</b>
Medido a (m)					10,0	0,0		

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Superficie meteorología y Solar Energy: [RETScreen datos](#)

Latitud 15.342 / Longitud -88.689 fue elegido.

Los datos climáticos ubicación

Unidad	Latitud	Longitud	Elevación	Calafacción temperatura de diseño	Temperatura de diseño de refrigeración	Tierra amplitud térmica	Frost días en el sitio				
N°	15,342		m	466	°C	17,17	°C	30,13	°C	9,09	0

Mes	Temperatura del aire	La humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	La presión atmosférica	Velocidad del viento	Tierra temperatura	Calafacción grados-día	Enfriamiento grados-día
	° C	%	kWh / m <sup>2</sup> / día	kPa	m / s	° C	° Cd	° Cd
Enero	21,2	77,8%	3,76	96,3	3,5	21,5	0	357
Febrero	22,4	72,3%	4,64	96,2	3,4	23,0	0	359
Marzo	24,0	65,3%	5,44	96,1	3,2	25,2	0	441
Abril	25,4	64,4%	5,94	96,0	3,0	27,3	0	467
Mayo	25,3	72,5%	5,64	96,0	2,6	26,7	0	479
Junio	24,7	79,5%	5,50	96,0	2,7	25,4	0	449
Julio	24,2	79,3%	5,31	96,1	2,9	24,8	0	448
Agosto	24,3	79,3%	5,42	96,1	2,6	24,9	0	452
Septiembre	24,3	79,8%	5,27	96,0	2,4	24,8	0	459
Octubre	23,5	81,2%	4,39	96,0	2,7	23,9	0	425
Noviembre	22,4	80,8%	3,85	96,2	3,1	22,7	0	381
Diciembre	21,6	79,9%	3,51	96,3	3,5	21,7	1	367
<b>Anual</b>	<b>23,6</b>	<b>76,0%</b>	<b>4,89</b>	<b>96,1</b>	<b>3,0</b>	<b>24,3</b>	<b>1</b>	<b>5064</b>
Medido a (m)					10,0	0,0		

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Superficie meteorología y Solar Energy: [RETScreen datos](#)

Latitud 15.323 / Longitud -88.718 fue elegido.

Los datos climáticos ubicación

Unidad	Latitud	Longitud	Elevación	Calafacción temperatura de diseño	Temperatura de diseño de refrigeración	Tierra amplitud térmica	Frost días en el sitio				
N°	15,323		m	466	°C	17,17	°C	30,13	°C	9,09	0

Mes	Temperatura del aire	La humedad relativa	Radiación solar diaria - horizontal	La presión atmosférica	Velocidad del viento	Tierra temperatura	Calafacción grados-día	Enfriamiento grados-día
	° C	%	kWh / m <sup>2</sup> / día	kPa	m / s	° C	° Cd	° Cd
Enero	21,2	77,8%	3,76	96,3	3,5	21,5	0	357
Febrero	22,4	72,3%	4,64	96,2	3,4	23,0	0	359
Marzo	24,0	65,3%	5,44	96,1	3,2	25,2	0	441
Abril	25,4	64,4%	5,94	96,0	3,0	27,3	0	467
Mayo	25,3	72,5%	5,64	96,0	2,6	26,7	0	479
Junio	24,7	79,5%	5,50	96,0	2,7	25,4	0	449
Julio	24,2	79,3%	5,31	96,1	2,9	24,8	0	448
Agosto	24,3	79,3%	5,42	96,1	2,6	24,9	0	452
Septiembre	24,3	79,8%	5,27	96,0	2,4	24,8	0	459
Octubre	23,5	81,2%	4,39	96,0	2,7	23,9	0	425
Noviembre	22,4	80,8%	3,85	96,2	3,1	22,7	0	381
Diciembre	21,6	79,9%	3,51	96,3	3,5	21,7	1	367
<b>Anual</b>	<b>23,6</b>	<b>76,0%</b>	<b>4,89</b>	<b>96,1</b>	<b>3,0</b>	<b>24,3</b>	<b>1</b>	<b>5064</b>
Medido a (m)					10,0	0,0		

Fuete: <https://eosweb.larc.nasa.gov>. Consulta: 5 de octubre del 2012.



