



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

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE
ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA,
GUATEMALA**

Fernando Wilfredo Velásquez Mijangos
Asesorado por el Ing. Jorge Luis Pérez Rivera

Guatemala, septiembre de 2011



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

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE
ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA,
GUATEMALA**

Fernando Wilfredo Velásquez Mijangos
Asesorado por el Ing. Jorge Luis Pérez Rivera

Guatemala, septiembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE
ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA,
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FERNANDO WILFREDO VELÁSQUEZ MIJANGOS
ASESORADO POR EL ING. JORGE LUIS PÉREZ RIVERA

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Saúl Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

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:

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE
ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA,
GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 13 de mayo 2009.



Fernando Wilfredo Velásquez Mijangos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 26 de abril de 2010

Ing. José Guillermo Bedoya
Coordinador del Área de Potencia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Bedoya

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA”** elaborado por el estudiante Fernando Wilfredo Velásquez Mijangos.

El mencionando trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,


Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Ref. EIME 07.2011

Guatemala, 26 de enero 2011.

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:
"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA
CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN SAN
JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA",
del estudiante, Fernando Wilfredo Velásquez Mijangos, que cumple
con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
Coordinador de Potencia



JLPR/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 31. 2011.

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; FERNANDO WILFREDO VELÁSQUEZ MIJANGOS titulado: "APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 29 DE ABRIL 2011.



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: **APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMBINADA CON OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN SAN JOSÉ PINULA MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **FERNANDO WILFREDO VELÁSQUEZ MIJANGOS**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, septiembre 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y tantas bendiciones recibidas durante mi carrera universitaria.
La memoria de mi padre	Arturo Velásquez Hernández, cuya vida, formación y esfuerzo, han sido un ejemplo a seguir. Que Dios lo tenga en su Santa Gloria.
Mi madre	Maria A. Mijangos Godinez por su apoyo y amor incondicional, lo cual me ha permitido alcanzar esta meta.
Mis hermanos	Sonia Criscelda y Edwin Geovani por estar siempre a mi lado apoyándome y compartiendo cada triunfo.
Mi familia	Por el cariño y apoyo brindado a lo largo de mi vida.
Mis amigos	Por su apoyo y constante motivación, espero que cada uno logre su meta.
Usted	Con mucho aprecio y respeto.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme permitido lograr este triunfo.
Ing. Jorge Luis Pérez Rivera	Por la ayuda y asesoría brindada para poder terminar con éxito el presente trabajo de graduación.
Ing. Máximo y Ana de Letona	Por su amistad, motivación y apoyo durante cada fase de mi vida.
Sr. Alfredo René López Mejía	Por su amistad y constante motivación para alcanzar esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme permitido adquirir nuevos conocimientos dentro de sus aulas.
Departamento de Mantenimiento y Física, Facultad de Ingeniería	Por brindarme una oportunidad que sirvió de escalón para continuar con mis estudios.
Amigos	En especial a todo aquel amigo y compañero que se siente identificado con el logro de este éxito.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. GENERALIDADES SOBRE GENERACIÓN.....	1
1.1. Generación	1
1.2. Generación en sistemas aislados	2
1.2.1. Sistemas individuales.....	2
1.2.2. Sistemas centralizados	3
1.2.3. Sistemas híbridos.....	3
1.3. Energías renovables.	4
1.3.1. Energía hidráulica	5
1.3.2. Energía solar.....	5
1.3.3. Energía eólica	6
1.3.4. Energía biomásica.....	6
1.3.5. Cogeneración.....	7
1.3.6. Energía geotérmica.....	7
2. GENERACIÓN EÓLICA	9
2.1. Reseña histórica	9
2.1.1. El viento como fuente de energía.....	11
2.1.2. Aplicaciones del viento.....	12
2.1.3. Ventajas	12

2.1.4.	Inconvenientes.....	14
2.2.	El aerogenerador.....	15
2.2.1.	Componentes.....	16
2.3.	Los parques eólicos.....	18
2.4.	Impacto ambiental.....	19
2.5.	Potencial eólico en San José Pinula.....	20
2.5.1.	Descripción del municipio.....	21
2.6.	Sistema de generación propuesto.....	23
2.6.1.	Descripción.....	23
2.6.2.	Sistema híbrido.....	24
2.6.3.	Mapa del viento en Guatemala.....	26
2.6.4.	Velocidad del viento.....	28
2.6.5.	Medición del viento.....	28
2.6.6.	Aprovechamiento.....	30
2.7.	Equipo propuesto.....	31
2.7.1.	Turbinas eólicas.....	34
2.7.2.	Parque eólico.....	39
2.8.	Empresa de generación de energía eléctrica a base de energía eólica.....	40
3.	OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE DISPONIBLE.....	45
3.1.	Solar.....	45
3.1.1.	Recurso disponible.....	45
3.1.2.	Aprovechamiento.....	50
3.2.	Hidráulica.....	56
3.2.1.	Recurso disponible.....	56
3.2.2.	Aprovechamiento.....	60
3.3.	Biomásica.....	61
3.3.1.	Recurso disponible.....	61

3.3.2.	Aprovechamiento	65
3.4.	Fuente de energía sugerida para servir de complemento a la energía eólica.....	67
3.4.1.	Evaluación de la capacidad energética del proyecto.....	67
4.	MARCO LEGAL.....	71
4.1.	Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable	72
4.2.	Ministerio de Energía y Minas.....	73
4.3.	Comisión Nacional de Energía Eléctrica	77
4.4.	Administrador de Mercado Mayorista	78
5.	COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	79
5.1.	Contratos	79
5.2.	Comercialización.....	80
5.3.	Facturación	82
6.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	85
6.1.	Municipalidad	86
6.2.	Empresa privada.....	87
6.3.	Análisis de costos	88
6.3.1.	Retorno de la inversión	96
6.4.	Programa de operación y mantenimiento	97
6.4.1.	Operación.....	97
6.4.2.	Mantenimiento.....	99
6.4.2.1.	Tipos de mantenimiento	100
6.4.2.1.1.	Mantenimiento correctivo	100
6.4.2.1.2.	Mantenimiento preventivo	101
6.4.2.1.3.	Mantenimiento predictivo	102

6.4.2.2.	Programa de mantenimiento.....	102
6.4.2.2.1.	Plan de trabajo	103
6.4.2.2.2.	Equipo de trabajo	106
CONCLUSIONES.....		109
RECOMENDACIONES.....		111
BIBLIOGRAFÍA.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Componentes de un aerogenerador.....	17
2. Mapa del potencial eólico en Guatemala.....	26
3. Ampliación de tabla de velocidades y departamento de Guatemala.....	27
4. Departamento de Guatemala.....	27
5. Curva de potencia aerogenerador de 250 kW.....	33
6. Curva de potencia aerogenerador de 850 kW.....	38
7. Variación de la curva I-V en función de la irradiación solar incidente a temperatura de célula constante.....	47
8. Variación de curva I-V en función de la temperatura de las células a radiación incidente constante.....	48
9. Programa de cálculo económico en aerogeneradores.....	91
10. Estimaciones económicas proyecto solar fotovoltaico, Centro de producción San Antonio, Costa Rica.....	95

TABLAS

I. Consumo en watts de diferentes aparatos electrodomésticos.....	34
II. Modelo de carga instalada por casa.....	35
III. Datos completos del modelo de carga	36
IV. Datos para calcular una instalación fotovoltaica.....	51
V. Plan de trabajo.....	104
VI. Cronograma del plan de trabajo para aerogeneradores.....	105
VII. Cronograma del plan de trabajo para módulos fotovoltaicos.....	106

GLOSARIO

AMM	Administrador del Mercado Mayorista
Ah	Amperios hora
Calidad de la energía eléctrica	Calificación que se le da a la energía eléctrica cuando sus características, como lo son: voltaje, frecuencia, ruido, distorsión, conexión a tierra y continuidad de servicio se encuentran dentro de parámetros normalizados.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
Corriente alterna	Corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente, la forma de onda más común es la onda sinusoidal.
Demanda	Carga eléctrica conectada en terminales receptoras tomada como un valor medio en determinado intervalo de tiempo.
Energía cinética	Energía que surge por el movimiento, definida como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa dada desde el reposo hasta la velocidad que posee.

Hueco de voltaje	Reducción brusca del voltaje en una fase de la red eléctrica, seguida de una rápida vuelta a los valores normales, todo ocurre en tiempo de milisegundos.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INSIVHUME	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
kwh	kilowatt-hora
kwh/d	kilowatt-hora por día
kwh/m²/d	kilowatt-hora por metro cuadrado por día
Línea de transmisión	Estructura material utilizada para transportar energía eléctrica de las centrales generadoras a los centros de consumo.
MEM	Ministerio de Energía y Minas
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m³/s	Metro cúbico por segundo
O&M	Operación y Mantenimiento

**Sistema Nacional
Interconectado**

Sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre si: generación, red de interconexión, red de transmisión, red de distribución y carga eléctrica de los usuarios.

Subestación eléctrica

Emplazamiento destinado a modificar los niveles de voltaje de una infraestructura eléctrica, con el fin de facilitar el transporte y distribución de energía eléctrica.

RESUMEN

La constante variación de precios en los combustibles, viene a afectar directamente la economía del país y los precios de la tarifa eléctrica, es por ello que se crea la necesidad de analizar fuentes energéticas renovables para la generación de energía eléctrica.

Estas fuentes renovables producen energía eléctrica libre de contaminación por emisiones de dióxido de carbono. En este trabajo de graduación se hace énfasis en el aprovechamiento de la energía eólica para generar energía eléctrica, Guatemala cuenta con áreas donde esta energía está disponible. San José Pinula es un municipio de Guatemala que cuenta con recurso eólico que puede ser aprovechado en un sistema de generación eléctrico y por las características propias de este municipio existen, además, otras fuentes renovables para ser utilizadas en conjunto con la energía eólica y servirle de respaldo.

Se analizan lineamientos para la comercialización y administración del proyecto dentro de un marco legal establecido, especialmente para el fomento y desarrollo de proyectos de energías renovables, para beneficio de la aldea San Luis, San José Pinula, Guatemala.

Además se propone un programa de operación y mantenimiento, del equipo a ser utilizado en la producción de energía eléctrica.

OBJETIVOS

General

Estudiar el aprovechamiento de la energía eólica y otras fuentes de energía renovable en San José Pinula, municipio del departamento de Guatemala.

Específicos

1. Evaluar el potencial eólico en la aldea San Luis, San José Pinula.
2. Evaluar el recurso disponible, de otras fuentes de energía renovable en la aldea San Luis, San José Pinula.
3. Analizar los lineamientos legales y comercialización, para el desarrollo de un sistema eléctrico aislado vinculado a energías renovables.
4. Analizar las bases administrativas para el proyecto.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de proyectos de electrificación con energías renovables trae beneficios, especialmente si se llevan a cabo en el área rural, pues existen áreas que son marginadas por su ubicación geográfica específica. El estudio presentado está contemplado dentro de un marco teórico y se analiza el aprovechamiento especialmente de la energía eólica disponible en la aldea San Luis, San José Pinula, estudiando, además, el recurso disponible de otras fuentes de energía renovable con que cuenta esta aldea.

Se propone la implementación de un sistema aislado de generación de energía eléctrica, analizando el marco legal establecido y la comercialización de energía eléctrica, así como las funciones del Ministerio de Energía y Minas, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y el Administrador del Mercado Mayorista que son los principales encargados por velar en todo lo concerniente al subsector eléctrico. Por último se toma en consideración la administración del proyecto basándose en las entidades que la ley general de electricidad faculta para dicha actividad y se propone un programa de operación y mantenimiento.

Esperando que sea de utilidad para estudiantes y motive el fomento del uso de energías renovables, se presenta a continuación el siguiente estudio enfocado a la disponibilidad de los recursos naturales.

1. GENERALIDADES SOBRE GENERACIÓN

1.1. Generación

Desde que se descubrió la corriente alterna, la forma de producir electricidad se ha hecho por medio de alternadores, mejor conocidos como generadores, que constan básicamente de un estator con devanado conectado a la red eléctrica y un rotor con devanado al cual se conecta un primotor, que suministra energía mecánica, haciéndolo girar para que interactúen los campos magnéticos creados en ambos devanados, produciendo de esta manera energía eléctrica.

A esta actividad se le conoce como generación de energía eléctrica que, en términos generales, consiste en transformar un tipo de energía, utilizada como fuente primaria, sea esta química, mecánica, térmica, etc., en energía eléctrica, para lo cual se tienen centros de operación llamados centrales eléctricas.

Dependiendo de la fuente primaria que emplean las centrales eléctricas se clasifican en: hidroeléctricas, termoeléctricas, nucleares, eólicas, ciclo combinado, geotérmicas, fotovoltaicas, etc. Luego, esta energía eléctrica es transportada por sistemas de transmisión y distribución hasta ser llevada a el consumidor final, el cual puede transformar esta energía eléctrica en otras formas de energía tales como: luminosa, mecánica, térmica, etc.

1.2. Generación en sistemas aislados

Los sistemas aislados de generación, son aquellos que se encuentran lejanos del sistema nacional interconectado, que por la dificultad del terreno es difícil transportar la electricidad ó resulta una inversión demasiado elevada que llevaría a un precio de venta de energía eléctrica relativamente alto, lo cual no trae beneficio alguno para las partes interesadas. Los sistemas aislados se clasifican en:

1.2.1. Sistemas individuales

Los sistemas individuales consisten en la generación de energía eléctrica para una sola vivienda, aprovechando los recursos renovables disponibles. Dependiendo de la potencia a suministrar y la fuente de energía que se elija, estos sistemas son de gran beneficio en áreas donde la población sea escasa.

La característica principal es que el sistema es autónomo, es decir que no depende del sistema nacional interconectado, sino de los factores del área elegida. Además, después de la inversión inicial, el costo se fundamenta básicamente en combustible, mantenimiento, operación y de las condiciones ambientales y el uso óptimo que el usuario le de. Como fuente primaria para estos sistemas se tiene la energía: del viento, la solar y por combustión de fuentes de energía de origen fósil, siendo esta última no muy aconsejable al tomar en cuenta la adquisición y transporte del combustible.

1.2.2. Sistemas centralizados

Un sistema centralizado es creado con el fin de satisfacer la demanda de energía eléctrica de una comunidad aislada de la red eléctrica nacional, en este caso se anticipa que la población es de una cantidad considerable, de tal manera que se puede planificar la construcción de una central eléctrica que dependerá de los recursos disponibles y de la fuente primaria de energía a utilizar.

Para tal caso, se estima que, además de la central eléctrica, se construya un sistema de transmisión y distribución en pequeño tamaño, pero que cumpla con los requerimientos mínimos para el transporte de energía eléctrica. Las fuentes de energía para tal sistema son: hidráulica, solar, eólica, geotérmica, etc., según la disponibilidad del área elegida.

1.2.3. Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos consisten en la combinación de dos fuentes de energía, para la producción de electricidad, lo cual permite una mayor confiabilidad en la prestación del servicio.

El sistema funciona eligiendo una fuente de energía principal que trabaje la mayor parte del tiempo y una secundaria la cual es complementaria según la disponibilidad y la demanda a satisfacer en el área elegida.

1.3. Energías renovables

Se denominan energías renovables a aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza, que son inagotables por la gran cantidad de energía que contienen o porque son capaces de renovarse por medio de la naturaleza misma en un tiempo relativamente corto.

Se utilizan, entre otras aplicaciones, para la generación de energía eléctrica denominada “energía limpia” porque no contamina el medio ambiente y su impacto ambiental puede ser controlado. Otro beneficio es que algunos de estos tipos de energía no está controlada por ninguna entidad, por lo cual su adquisición depende únicamente de los recursos naturales disponibles.

Guatemala cuenta con una considerable cantidad de recursos renovables, que a la fecha no están siendo aprovechados, principalmente para la generación de energía eléctrica. En la actualidad se utilizan centrales: hidroeléctricas, geotérmicas, termoeléctricas, pero energías tales como la: eólica, solar, biomasa, entre otras, no están siendo aprovechadas a gran escala, excepto esta última en la época de zafra de los ingenios azucareros.

Actualmente se están iniciando estudios para desarrollar proyectos para el aprovechamiento de este tipo de energías, lo cual traerá gran beneficio pues se reducirá la dependencia de los recursos energéticos externos y se podrán obtener costos bajos y estables de producción. Las energías renovables disponibles en Guatemala pueden clasificarse en:

1.3.1. Energía hidráulica

La energía hidráulica aprovecha la energía cinética del agua cuando cae por fuerza gravitacional, la cual es almacenada o desviada a lo largo de un río; es dirigida a una turbina donde es convertida en energía mecánica, la cual excita un generador y produce energía eléctrica. La cantidad de energía que se puede suministrar la determina principalmente el flujo de agua y la altura de caída. Es considerada la fuente más confiable de energía, aunque en tiempos de sequía se ve afectado su suministro. Actualmente este tipo de energía está siendo aprovechada para el suministro en el sistema nacional interconectado -SNI-.

1.3.2. Energía solar

La energía solar tiene su origen en la radiación electromagnética proveniente del sol. Diversas perturbaciones hacen que la radiación solar cambie en su trayectoria hasta la superficie terrestre, adquiriendo radiación: a) directa, que proviene directamente desde la dirección del sol y b) difusa, siendo el producto de procesos de reflexión, absorción, etc. El aprovechamiento de esta energía se puede dividir en energía activa y pasiva.

Esta energía es recolectada a través de paneles, módulos o colectores fotovoltaicos los cuales están formados por dispositivos semiconductores, para luego ser transformada en energía eléctrica. Actualmente este tipo de energía no está siendo aprovechada para el suministro de electricidad al SNI.

1.3.3. Energía eólica

La energía eólica es obtenida directamente de la fuerza del viento, el cual es resultado de la diferencia de presión del aire creada por calentamiento del sol sobre la tierra, la atmósfera y el calor de la superficie; las diferencias de presión resultante de este calentamiento producen el viento.

La energía cinética del viento es aprovechada en aeroturbinas que constan de una hélice que hace girar una turbina, para generar energía eléctrica. Actualmente este tipo de energía no está siendo aprovechada para suministrar electricidad al SNI.

1.3.4. Energía biomásica

La biomasa incluye la materia orgánica, de origen vegetal o animal. La energía de la biomasa radica en la energía almacenada en los desperdicios orgánicos y su transformación en energía útil. Para obtener la materia prima, que son desechos orgánicos, se puede utilizar: madera, residuos agrícolas, desechos animales, etc., o se pueden realizar cultivos con el fin de extraer su contenido energético. La forma de extraer energía de la biomasa es por procesos físicos, termoquímicos y bioquímicos con el fin de obtener combustible para accionar motores de combustión interna y generar energía eléctrica. Actualmente se está implementando en pequeña escala.

1.3.5. Cogeneración

La cogeneración consiste en la producción conjunta de dos tipos de energía, a partir de una sola fuente de combustible, como energía térmica y eléctrica que se basa en el aprovechamiento de calores residuales de sistemas de producción de electricidad, su uso es óptimo en instalaciones donde el consumo térmico es útil a procesos productivos en forma de fluido caliente de vapor, agua o gases. Como ejemplo se encuentran los ingenios azucareros donde se obtiene calor para la producción de azúcar y energía eléctrica, a partir del bagazo de caña.

1.3.6. Energía geotérmica

La energía geotérmica proviene del calor generado por procesos naturales dentro de la tierra; puede obtenerse en depósitos subterráneos de: vapor, agua caliente, fluidos salinos calientes y roca caliente seca; es una energía no renovable pero dado que el recurso es tan grande se considera inagotable.

La energía se extrae hacia la superficie transformándola total o parcialmente en vapor, el cual se utiliza para accionar turbinas generadoras de energía eléctrica, entre otras aplicaciones. En Guatemala se encuentra principalmente en los departamentos de Quetzaltenango, Chiquimula, Santa Rosa, El Progreso, Jalapa, Totonicapán y Quiché. Para la generación de energía eléctrica conectada al SNI actualmente es la menor fuente de energía aprovechada.

Estos tipos de energías se encuentran distribuidas a lo largo del país debiendo, en la mayoría de los casos, generar energía eléctrica en un lugar y luego ser transportada por sistemas de transmisión y distribución, con la interacción de subestaciones eléctricas, con el fin de ser llevada al usuario final, lo que conlleva a un aumento en el precio de venta del kiloWatt-hora (kWh).

Con la opción de utilizar energías renovables, para la producción de energía eléctrica, en el mismo lugar de origen, se disminuirán los costos de transporte y se podría obtener el beneficio de un precio de venta del kWh más favorable para el consumidor.

2. GENERACIÓN EÓLICA

2.1. Reseña histórica

La energía eólica, es la energía obtenida por el aprovechamiento del movimiento de masas de aire, convirtiendo la energía cinética de estas masas en energía útil para el ser humano. El término eólico proviene del latín *Eolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios del viento en la mitología griega.

El viento es generado a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por la radiación solar, de la cual únicamente el 1% ó 2% se convierte en viento. En el día, las masas de aire ubicadas en los lagos, mares y océanos se mantienen más frías con relación a los continentes, que absorben una menor cantidad de calor, por lo cual las masas de aire de estos se vuelven livianas y se elevan considerándose aire caliente; luego, el aire frío se pone en movimiento para ocupar el espacio dejado por el aire caliente formándose así los vientos.

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para movilizar los barcos de velas o para hacer funcionar los molinos de viento, siendo ésta una máquina que trasforma el viento en energía mecánica, accionando con la fuerza del viento unas aspas unidas a un eje común.

La energía mecánica proveniente de estos molinos se ha aprovechado en máquinas para bombear agua, moler grano ó generar electricidad. Los primeros molinos fueron construidos en Afganistán en el siglo VII, siendo molinos de eje vertical hechos de 6 a 8 aspas usados para moler maíz o extracción de agua.

En Europa los molinos iniciaron en el siglo XII, en Inglaterra y Francia, cuya estructura consistía principalmente de: madera, tela y piedra. Los molinos de eje horizontal fueron utilizados en Europa Occidental, para moler trigo desde 1180.

En Estados Unidos, se desarrolló el molino de bombeo con velas metálicas, siendo uno de los factores principales que permitió el desarrollo de la ganadería y agricultura en los territorios norteamericanos, facilitando el acceso al agua y además contribuyendo a la expansión del ferrocarril.

Las turbinas modernas, principalmente para la generación de energía eléctrica, dieron inicio a su desarrollo en 1980, por lo cual los diseños aun continúan en desarrollo y mejoras aplicando nuevas tecnologías.

Actualmente la energía eólica es utilizada principalmente para la generación de energía eléctrica, por medio de aerogeneradores, ya sea para producción masiva en parques eólicos, para suministro en sistemas aislados o suministros de viviendas individuales según el área elegida para su ejecución.

2.1.1. El viento como fuente de energía

En varios países la energía eólica ha pasado a ser una fuente de energía establecida, cuyo crecimiento, entre otros factores, ha sido influido por la preocupación al cambio climático global, el cual es un tema complejo e inquietante pues, comparado con devastadores huracanes, ocasiona estragos de magnitud incalculable, especialmente si no se llega a salir del intenso consumo de los combustibles fósiles.

La disminución de las emisiones de gases con efecto invernadero, tiene sentido tanto ambiental como económico; sin embargo se presentan inconvenientes como la inseguridad de los suministros de energía, en conjunto por la inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles, lo cual lleva a crear un ambiente de dependencia al cambio de estos factores que en determinado momento ocasionan pérdidas en la industria.

La energía eólica es una energía limpia y libre de carbono, siendo una solución viable y atractiva para enfrentar dichos factores y cubrir parte de la demanda energética de un país o área determinada. El viento es una energía autóctona, en Guatemala y el resto del mundo, contando con suficiente recurso para contribuir y satisfacer la demanda eléctrica la cual está siempre en aumento. El uso de esta energía, proyectada a futuro, puede ser significativo si se abarca el tema con interés y dedicación, tanto por las entidades gubernamentales correspondientes como por entidades interesadas en promocionar y desarrollar energía eléctrica limpia.

2.1.2. Aplicaciones del viento

Entre los usos actuales que se le da al viento están: aplicaciones mecánicas para el bombeo de agua, que también se puede realizar por sistemas eléctricos; que al compararlos se puede decir que los primeros son más baratos y pueden operar a velocidades de viento bajas, adicionalmente el tipo de mantenimiento que requiere es más simple y barato.

Otra aplicación es la generación de energía eléctrica en sistemas aislados, para comunicación y para generación eléctrica conectada al sistema nacional interconectado a través de parques eólicos, conectándose directamente a la red eléctrica disponible.

Actualmente, según datos del Ministerio de Energía y Minas -MEM- en su publicación “La energía en Guatemala”, existe la promoción de proyectos para ser conectados a la red nacional tales como: a) Estudio Buenos Aires, Villa Canales, con capacidad de 15 MW, que está en su etapa de construcción, b) La Colina San Vicente Pacaya, en etapa de preinversión, c) Los Llanos, Villa Canales en etapa de preinversión (1).

2.1.3. Ventajas

La energía eólica es un recurso abundante, renovable y principalmente limpio que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, emitido por otras centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles. Dentro de las principales ventajas que conlleva emplear la energía eólica se listan las siguientes:

(1) Ministerio de Energía y Minas. La energía en Guatemala. p. 31.

- Es energía renovable porque tiene origen en procesos atmosféricos, por la energía que llega a la tierra proveniente del Sol.
- Es una energía limpia, ya que no produce residuos contaminantes ni requiere combustión que produzca dióxido de carbono.
- No contribuye al efecto invernadero.
- El terreno utilizado para su instalación puede ser no apto para otros fines, tales como zonas desérticas, laderas áridas y muy empinadas, etc.
- El terreno utilizado para su instalación puede ser empleado en conjunto para otros fines, por ejemplo para uso ganadero ó cultivos.
- Crea puestos de trabajo en las plantas ensambladoras y compañías dedicadas a la instalación de aerogeneradores.
- La instalación es rápida comparada con otras centrales, entre 6 meses y un año.
- Se puede utilizar combinada con otros tipos de energía renovable como solar, hidráulica, etc., permitiendo la electrificación de viviendas en un sistema aislado y autónomo.
- Existe la posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde los vientos son más fuertes y constantes.

2.1.4. Inconvenientes

Así como cualquier otro tipo de energía, la energía eólica presenta algunos inconvenientes:

- Por la falta de seguridad en la continuidad y existencia de viento, esta energía no debe ser utilizada como única fuente de producción, siendo indispensable utilizar un respaldo con otras energías de preferencia renovables para que continúe siendo energía limpia.
- Para trasladar la electricidad, producida por aerogeneradores, es necesario construir líneas de transmisión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad según sea la capacidad del parque eólico y la distancia de ubicación de la comunidad a servir, la cual se espera que sea lo más corta posible.
- Es necesario cubrir las reducciones de voltaje, proveniente del aerogenerador, instantáneamente, para mantener la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Uno de los mayores inconvenientes en los aerogeneradores es el fenómeno llamado hueco de voltaje que, al presentarse, provoca la operación de las protecciones de los aerogeneradores con motor jaula de ardilla y los desconectan de la red para evitar daños, provocando perturbaciones en el servicio.

- Se tiene la dependencia de una velocidad mínima del viento para tener en movimiento las aspas, y una limitación superior que consiste en que la máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero el viento aumenta en su velocidad sobrepasando las especificaciones del aerogenerador, debiendo desconectar el sistema de la red, cambiar la posición ó inclinación de las aspas para que dejen de girar, evitando con ello daños en el equipo, pero esto puede ocasionar cortes en el servicio eléctrico.

2.2. El aerogenerador

La máquina utilizada para transformar la fuerza de la energía cinética del viento a energía mecánica y luego a electricidad recibe el nombre de turbina eólica o aerogenerador. Se instala sobre una torre para aprovechar de una mejor manera la velocidad del viento, que aumenta con la altura respecto al suelo, ubicándolo en áreas donde no haya obstáculos que distorsionen su intensidad.

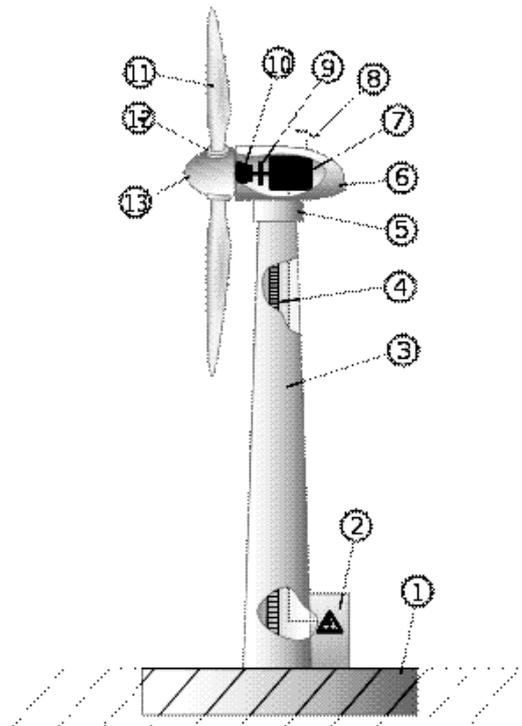
Los primeros aerogeneradores tenían un rendimiento muy bajo, aproximadamente 10%, pero gracias al avance tecnológico hoy se logran eficiencias del 50%. Se considera un porcentaje elevado si se toma en cuenta que el aerogenerador únicamente puede tomar el 59% de la energía del viento, según fue demostrado por el físico alemán Albert Betz en 1969.

2.2.1. Componentes

Se ha demostrado, científicamente, que los aerogeneradores con triaspas de eje horizontal son los idóneos, porque cuando mayor es el número de aspas el rendimiento disminuye debido a que cada aspa frena su movimiento al chocar con las turbulencias dejadas por la aspa anterior. Dentro de los componentes principales de un aerogenerador para su correcto funcionamiento se listan y describen a continuación los más importantes, los cuales se muestran en la siguiente figura:

1. Cimientos
2. Conexión a la red eléctrica
3. Torre
4. Escalera de acceso
5. Sistema de orientación
6. Góndola
7. Generador
8. Anemómetro
9. Freno
10. Caja de cambios
11. Pala o aspa
12. Inclinación de aspa
13. Rueda del rotor

Figura 1. **Componentes de un aerogenerador**



Fuente: <http://educasitios2008.educ.ar/aula198/aerogeneradores/>
esquema de una turbina eólica.

- Torre: es el soporte principal de la góndola y el rotor, siendo en su mayoría tubulares; el grosor y la altura de la torre están en función de las características propias de la turbina.
- Rotor: es el conjunto de aspas y eje que van unidas a través de una pieza llamada buje. Las aspas capturan el viento y transmiten la potencia al buje el cual está conectado a través de otro eje a un sistema multiplicador de velocidad dentro de la góndola.

- Las aspas: son semejantes a las alas de un avión, diseñados específicamente para turbinas eólicas; son las que capturan la energía proveniente del viento.
- Góndola: es la parte principal del aerogenerador ya que en su interior se encuentra el generador eléctrico, el multiplicador de velocidad y los sistemas de control, orientación y freno.
- La veleta y el anemómetro: están situados en la parte posterior de la góndola, su función es medir la dirección y velocidad del viento en cada instante, enviando señales a sistemas de control para colocar las aspas en un lugar óptimo para que el viento choque perpendicularmente con las aspas, así mismo sirven para ordenar el frenado de aerogenerador si el viento sobrepasa la velocidad máxima de operación.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores dependiendo de la potencia. La disposición de su eje de rotación puede ser horizontal o vertical, siendo los de eje horizontal los que han sido implementados por su confiabilidad, eficiencia y capacidad de ser adaptados a diferentes potencias. Son fabricados para trabajar a diferentes velocidades del viento, entre 3 m/s y 24 m/s, llamadas respectivamente, velocidad de conexión y velocidad de corte. La vida útil de estas máquinas es de por lo menos 20 años.

2.3. Los parques eólicos

El parque eólico es la instalación de un conjunto de aerogeneradores, aprovechando la energía eólica, para la producción de electricidad. Cada parque eólico cuenta con una central de control para este conjunto.

La razón principal, para la instalación de estos parques, es que dicho agrupamiento permite explotar de una forma muy eficiente la energía del viento disponible, además de reducir costos y poder trasladar la energía de un punto en común, reduciendo la cantidad de líneas de transmisión, entre otros beneficios.

Antes de proceder a la instalación de un parque eólico, se debe de tener la seguridad de que el área escogida tiene las condiciones necesarias para su ejecución. Se realiza una diversidad de estudios, entre ellos el más importante es el de velocidad del viento, ya que ello determina la cantidad de energía que se puede obtener.

Es de vital importancia conocer las turbulencias del viento que se producen dependiendo de las características topográficas del terreno, lo cual disminuye la eficiencia y crea daños en el aerogenerador.

Por otra parte, se debe hacer ante todo un estudio de impacto ambiental que considere diversos factores, entre ellos: el impacto de las obras y tendidos eléctricos, flora y fauna, área protegida y patrimonio cultural.

2.4. Impacto ambiental

Aunque se considera una energía limpia, tiene cierto impacto ambiental:

- Existen lugares donde se combina con centrales térmicas, lo que lleva a que se critique sí realmente se disminuyen las emisiones de dióxido de carbono. Pero hay que considerar que ninguna forma de producción de energía eléctrica tiene el potencial de cubrir por si sola toda la demanda y producción energética, basada en energías renovables.

- Si se instala en zonas de espacios protegidos para aves o con rutas migratorias conlleva a la mortandad de estas, pero se ha comprobado que comparada con otras causas que provocan su muerte, los aerogeneradores se encuentran en la escala más baja. Además dado que los aerogeneradores trabajan a velocidades bajas de rotación, el problema de choque de aves se está reduciendo.
- El impacto que produce al paisaje es importante cuando existen viviendas cercanas. Cuando el sol esta por detrás de los aerogeneradores se puede producir sombras que se proyectan a cierta distancia ó el llamado efecto discoteca, que se produce cuando las sombras de las aspas se proyectan sobre estas viviendas parpadeando y por otra parte el ruido que se puede llegar a producir causando estrés en las personas.

2.5. Potencial eólico en San José Pinula

Para determinar el potencial eólico de una área, hay que realizar un estudio del terreno que se pretende ocupar, lo primordial es conocer la velocidad del viento y la energía que se puede sacar de ese emplazamiento, para lo cual se colocan una serie de aparatos que miden: velocidades de viento, velocidades medias, velocidades direccionales predominantes, unido con otros datos que permitan calcular la energía que se puede extraer y el número de aerogeneradores a instalar.

Para el caso específico de San José Pinula, municipio del departamento de Guatemala, cabe mencionar que el estudio realizado es únicamente teórico.

2.5.1. Descripción del municipio

San José Pinula, cuya cabecera municipal se encuentra, en un pequeño valle en las faldas noroeste de la sierra que tradicionalmente se ha llamado de Canales, a 22 kilómetros de la plaza mayor de la capital guatemalteca y a una altura de 1752 msnm, con una población aproximada de 50,000 habitantes, comunicación terrestre a la ciudad capital por la ruta nacional 18. Posee un clima templado en casi todo el año, variando en los meses de noviembre, diciembre y enero que son fríos, mientras que febrero y marzo son muy calurosos.

Posee fincas de ganadería, plantaciones, campos ecológicos, áreas para la observación de aves, áreas para la práctica de deportes extremos. Cuenta con un territorio de 220 kilómetros cuadrados en los cuales hay distribuidas 20 aldeas y 6 caseríos.

Los suelos de este municipio son de uso agropecuario, sobresaliendo el cultivo de maíz, frijol, maicillo, hortalizas, flores, árboles forestales, además es la zona donde se encuentran los mejores hatos de ganado Jersey.

De sus bosques se extraen madera de construcción y carbón vegetal. La industria se compone de procesadoras de verduras, ganadería bovina y equina de razas finas, también cuenta con granjas avícolas. Dentro de las Fincas que se pueden mencionar están: Agua Tibia, San Francisco, Las Nubes y Palo Blanco.

Sus límites son: al Norte con los municipios de Palencia y Guatemala, departamento de Guatemala, al este con el municipio de Mataquescuintla, departamento de Jalapa, al sur con el municipio de Santa Rosa de Lima, departamento de Santa Rosa y al oeste con los municipios de Santa Catarina Pinula y Fraijanes, departamento de Guatemala.

Para realizar la investigación, por falta de información documentada, se hizo necesario abocarse a la municipalidad de San José Pinula para solicitar asesoría en cuanto a que aldea, de las 20 con que cuenta este municipio, se podría tomar como modelo para realizar el estudio.

Se obtuvo información que actualmente todas las aldeas de este municipio cuentan con el servicio de energía eléctrica, el señor Enrique Castro, Sindico Primero Municipal asigno a la aldea "San Luis" para realizar el estudio y la toma de datos correspondientes, delegando al señor Antonio Altán, para proporcionar la información necesaria, quien es Presidente del Comité Pro Mejoramiento y de Agua Potable, aldea San Luis.

El objetivo principal de este comité es la prestación de servicio de agua potable a los vecinos, como también el mejoramiento de otros servicios y proyectos de beneficio general para la comunidad de la aldea San Luis. Tomando como muestra dicha aldea, el presidente del comité proporcionó la siguiente información:

Población: 1,500 familias de 5 miembros por familia en promedio, con un aproximado de 8,000 habitantes.

Servicios públicos:

- Energía eléctrica
- Alumbrado público
- Agua potable
- Televisión por cable
- Telefonía móvil
- Sin pavimentación

Las líneas de alta tensión, para la distribución de energía eléctrica llegan a las orillas de la aldea, para distribuir este servicio a la aldea ingresan únicamente líneas en 120/240 V.

Ubicación geográfica: a 3 km de San José Pinula, colinda con el río Teocinte.

La anterior información se utilizó como base para continuar con el desarrollo del presente estudio.

2.6. Sistema de generación propuesto

2.6.1. Descripción

Por el tipo de infraestructura con que cuenta la aldea San Luis, un sistema de generación aislado puede ser implementado, ya que hay disponibilidad de recursos renovables y las condiciones del terreno son favorables.

El factor importante a tomar en cuenta, para dar inicio a un proyecto de electrificación que conlleve el uso de energías renovables, es realizar un estudio para saber con que tipo de energías se cuenta, y hasta donde es factible realizarlo.

Para este caso en particular, se cuentan con energías renovables que a la fecha no están siendo aprovechadas en la generación de energía eléctrica, pudiendo aprovechar el potencial de estas energías de diversas formas, y así contribuir al desarrollo de esta aldea, siendo ejemplo y pionero para otras áreas donde se disponga de recursos renovables.

Otro factor importante es que no se depende en ningún momento de la compra o transporte de energía eléctrica, si no que la comunidad puede tener la capacidad de cubrir su propia demanda eléctrica a partir de estas fuentes inagotables de energía.

El proyecto puede ser llevado a cabo por: la misma comunidad, una empresa privada que esté interesada en el aprovechamiento de estas fuentes de energía ó por una entidad del estado enfocada en el desarrollo del país.

2.6.2. Sistema híbrido

Se sugiere implementar un sistema híbrido, por las ventajas que tiene comparado con un sistema individual o un sistema centralizado, tomando en cuenta que ofrece una mayor continuidad en el suministro del servicio, debido a que el sistema trabaja con dos fuentes de energías.

La característica principal de este sistema de generación, es que se toma una fuente de energía principal, la cual debe mantener la continuidad del servicio, pues será la que mantenga el sistema de generación funcionando la mayor parte del tiempo, complementada con otra fuente de energía que será el apoyo en caso que la demanda sea elevada.

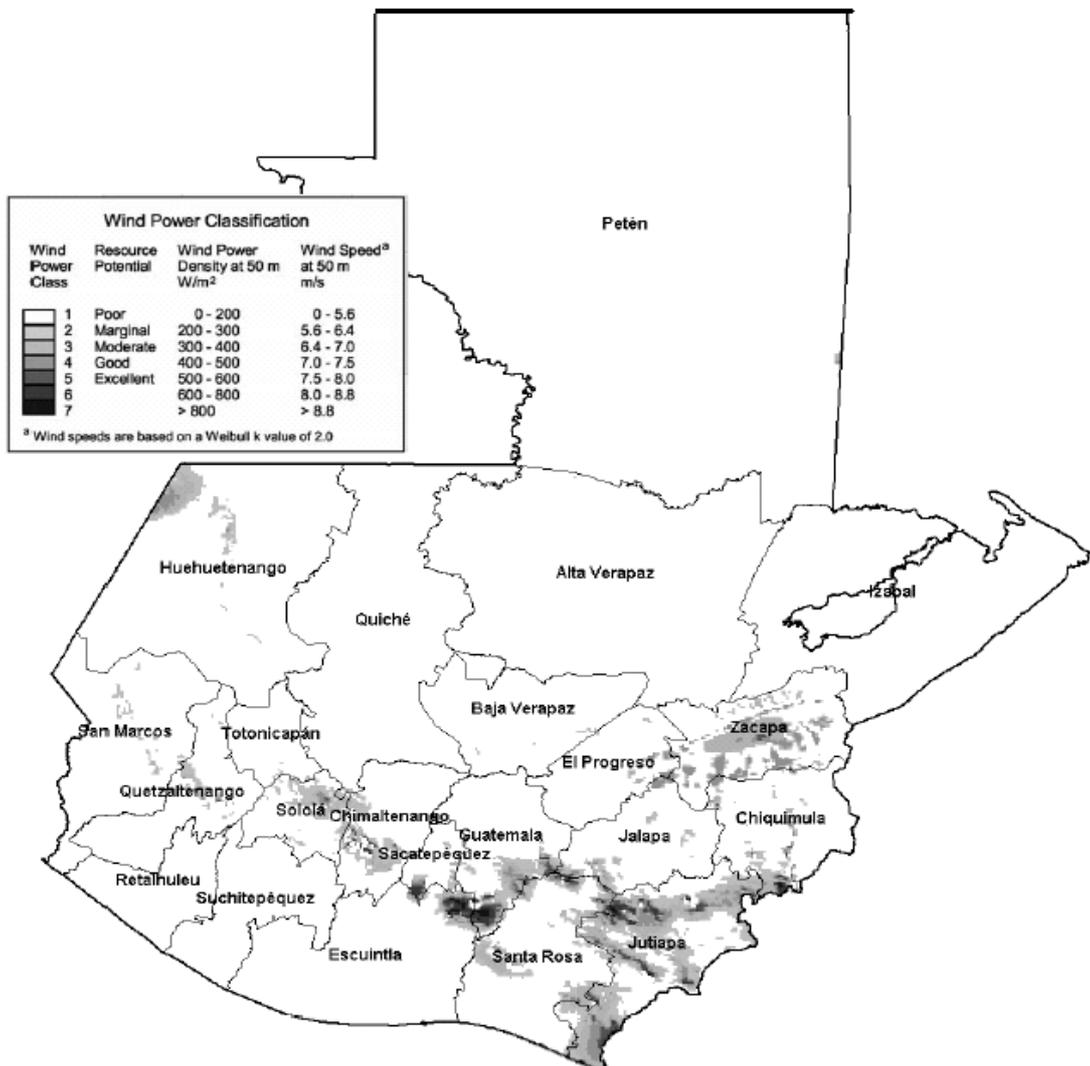
La fuente de energía renovable que se toma como principal para la generación de energía eléctrica en la aldea San Luis es la energía eólica, la cual según el mapa de potencial eólico disponible para Guatemala, es abundante en San José Pinula, manteniendo velocidades considerables que pueden ser explotadas para diversos fines.

Es de importancia recalcar qué entidades gubernamentales tienen que velar por el correcto desarrollo de un proyecto de electrificación, ya que el objetivo principal es contribuir al desarrollo comunitario, disminuir cualquier impacto ambiental y distribuir energía eléctrica proveniente de fuentes energéticas renovables.

2.6.3. Mapa del viento en Guatemala

Figura 2. Mapa del potencial eólico en Guatemala

MAPA DE POTENCIAL EÓLICO



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Energía eólica en Guatemala. p. 7.

Figura 3. Ampliación de tabla de velocidades y departamento de Guatemala:

Wind Power Classification			
Wind Power Class	Resource Potential	Wind Power Density at 50 m W/m ²	Wind Speed ^a at 50 m m/s
1	Poor	0 - 200	0 - 5.6
2	Marginal	200 - 300	5.6 - 6.4
3	Moderate	300 - 400	6.4 - 7.0
4	Good	400 - 500	7.0 - 7.5
5	Excellent	500 - 600	7.5 - 8.0
6		600 - 800	8.0 - 8.8
7		> 800	> 8.8

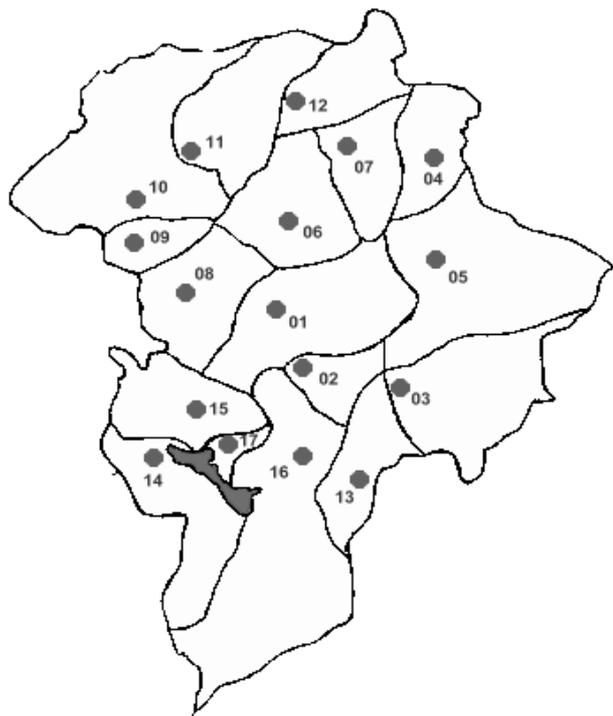
^a Wind speeds are based on a Weibull k value of 2.0



Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Energía eólica en Guatemala. p. 7.

Figura 4. Departamento de Guatemala

1. Guatemala
2. Santa Catarina Pinula
3. San José Pinula
4. San José del Golfo
5. Palencia
6. Chinautla
7. San Pedro Ayampuc
8. Mixco
9. San Pedro Sacatepéquez
10. San Juan Sacatepéquez
11. San Raimundo
12. Chuarrancho
13. Fraijanes
14. Amatitlán
15. Villa Nueva
16. Villa Canales
17. Petapa



Fuente: www.zonu.com/mapas_guatemala

Del mapa del potencial eólico en Guatemala; representado en la figura 2, se amplía la tabla de velocidades del viento; representado en la figura 3, y se compara con la subdivisión de municipios del departamento de Guatemala; representado en la figura 4. Donde se puede observar que San José Pinula cuenta con velocidades del viento aprovechables.

2.6.4. Velocidad del viento

Las figuras anteriores se pueden obtener por medio de publicaciones del Ministerio de Energía y Minas, en versión digital para una mejor resolución de imagen. Se observa que en San José Pinula se tienen velocidades entre 6.4 m/s y 8.0 m/s tomadas a una altura de 50 metros. Estas velocidades pueden variar según la altura a la que se tome la medición; son utilizadas únicamente de referencia para propósitos del presente estudio.

Es evidente que hay potencial eólico disponible para ser aprovechado, dando lugar al desarrollo de este municipio y principalmente para la aldea San Luis, creando un sistema aislado de generación, siendo esta la propuesta básica pero podría vender excedentes de energía a lugares cercanos, si se llegará a enlazar al sistema nacional interconectado.

2.6.5. Medición del viento

La velocidad puede variar según la altura, debiendo ser verificadas por medio de aparatos especiales que creen una base de datos donde se incluyan, entre otros factores, velocidades del viento y direcciones predominantes.

En el sitio donde se debe evaluar el potencial eólico se desconoce el comportamiento que el viento tiene durante el año, para lo cual debe de aplicarse una metodología que permita conocer este potencial.

Entre estas metodologías se encuentran: la medición de corta y larga duración, la aplicación de modelos numéricos, los modelos de conservación de masa, los modelos de flujo, los modelos físicos, etc.

La utilización de medición de corta duración consiste en efectuar medición del viento con duración de entre tres y cinco meses en el área elegida para la evaluación. La medición de velocidad y dirección del viento se realiza en un mástil cuya altura depende de las características propias del terreno, considerando: si es terreno accidentado, si ofrece obstáculos como árboles, montañas, si existen edificios ó cualquier otro impedimento físico.

Para la evaluación del potencial eólico se prefiere el método de medición de larga duración que requiere de series históricas lo más largas posibles, no debiendo ser menor a un año y, si es posible, mayor a tres años; esto se hace para observar los componentes y variaciones del viento durante un año, pudiendo comparar los resultados con una estación meteorológica cercana.

Conociendo la serie histórica de velocidad del viento, de por lo menos un año, a la altura que se pretende colocar el eje del aerogenerador, se procede a obtener la serie histórica de potencia eléctrica generada por el mismo y conocer los parámetros que caracterizan la producción. En especial para el factor de capacidad (FC), definido como el cociente entre la potencia media generada en el período y la potencia nominal de aerogenerador analizado, tomando en cuenta además la curva de potencia del aerogenerador.

2.6.6. Aprovechamiento

Para determinar el aprovechamiento de esta energía se elige un lugar para el emplazamiento y se determina durante un período significativo, la velocidad media del viento y la energía extraíble.

La energía eólica extraíble puede expresarse por medio de una ecuación que relaciona directamente la densidad del aire, el área o diámetro de las aspas del aerogenerador y la velocidad del viento, definida por:

Ecuación 1

$$P = \frac{1}{2} * C_p * \rho * v^3 * A$$

Donde:

ρ = densidad del aire (kg/m³)

v = velocidad del viento (m/s)

A = Área interceptada (m²)

C_p es un factor denominado coeficiente de potencia, o eficiencia, del aerogenerador que toma valores entre 0.2 y 0.45, entre más grande es el aerogenerador más grande es el valor de C_p .

Una buena aproximación de la potencia desarrollada por un aerogenerador de 2 ó 3 aspas, en condiciones ideales, esta dada por:

Ecuación 2

$$P = 0.29 * C_p * D^2 * v^3$$

Donde se ha sustituido la densidad del aire con un valor de 1.25 kg/m³ y el área barrida ha quedado en función de su diámetro al cuadrado. Con los datos propios del área en estudio se puede establecer la cantidad de energía que se puede extraer, y el número de aerogeneradores a ser instalados.

El aprovechamiento que se proyecta para la aldea San Luis, es la implementación de un sistema aislado capaz de producir y suministrar energía eléctrica a toda la comunidad y sus servicios.

2.7. Equipo propuesto

La fracción de energía capturada por un aerogenerador viene dada por el coeficiente de potencia. Los aerogeneradores modernos utilizan sistemas de control de tal manera que operan a la máxima eficiencia alcanzando valores de 50%, según sea el tamaño de estos y las condiciones del emplazamiento.

Entre las características específicas a considerar para la elección de un aerogenerador se encuentran:

- Rotor: diámetro, área de barrido, velocidad de giro, sentido de giro, peso.
- Aspas: número de aspas, longitud, perfil, material, peso.
- Torre tubular: altura, peso, secciones.
- Multiplicadora: tipo, refrigeración, calentamiento de aceite.

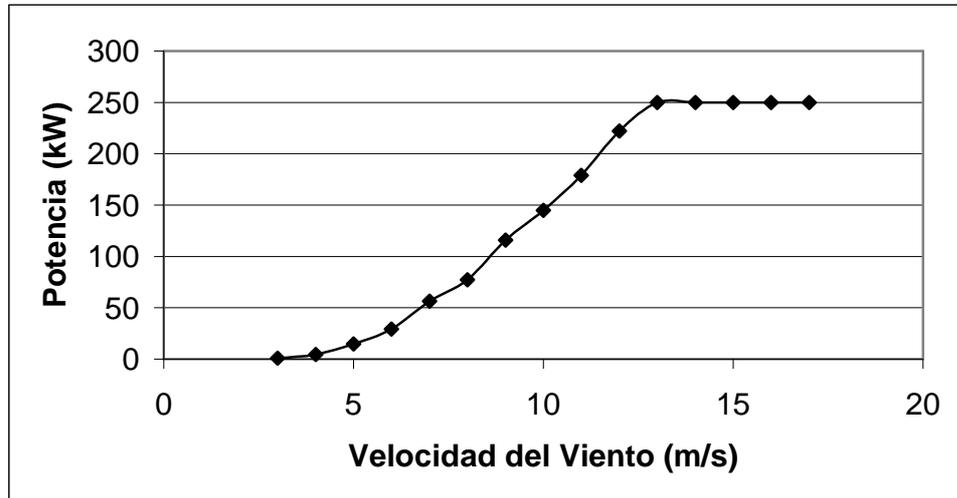
- Generador: tipo, potencia nominal, voltaje, frecuencia, clase de protección, número de polos, velocidad de giro, intensidad nominal estator, factor de potencia.
- Velocidad: de conexión, nominal y de corte.
- Temperaturas de funcionamiento.
- Impacto acústico.

Estas especificaciones vienen dadas según el fabricante. La elección del equipo adecuado debe de hacerse, en primer lugar, según la velocidad del viento disponible y, en segundo lugar, que cumpla con todos los requerimientos que exija el caso específico del área elegida.

Para efectos del presente estudio, el dato más relevante con que se cuenta son las velocidades que se tiene disponibles, que están entre 6.4 m/s a 8.0 m/s tomadas a una altura de 50 m, utilizando una velocidad media se obtiene el valor de 7.2 m/s. Dicha velocidad mejora al aumentar la altura de medición.

A continuación se presenta la curva de potencia de un aerogenerador, que relaciona la energía eléctrica producida por el aerogenerador con la velocidad del viento:

Figura 5. Curva de potencia aerogenerador de 250 kW.



Fuente: Repowering Solutions. Catálogo aerogeneradores. p. 10.

De la gráfica se observa que para una velocidad de 7 m/s la potencia obtenida es de aproximadamente 56 kW. Datos del fabricante:

- Diámetro del rotor: 30 metros
- Velocidad de conexión: 3 m/s
- Velocidad nominal: 11.5 m/s
- Velocidad de corte: 25 m/s

Para poder establecer una turbina eólica que trabaje a las velocidades que se tienen disponibles, en el siguiente inciso se utiliza un modelo que ejemplifica, en condiciones ideales, la carga instalada.

2.7.1. Turbinas eólicas

Se pueden instalar turbinas eólicas que generen electricidad suficiente para iluminar viviendas, escuchar música, ver televisión, uso de bomba de agua, uso de herramientas ligeras, etc., que sean capaces de satisfacer la demanda de un conjunto de casas, con el mismo modelo de carga. Para fines de ejemplo se desarrolla el siguiente cálculo, se presenta una tabla de consumo en watts de diversos aparatos electrodomésticos de uso común, los datos pueden variar según la marca y aparato utilizado:

Tabla I. **Consumo en watts de diferentes aparatos electrodomésticos**

Aparato	Capacidad en Watts	Horas uso diario
Lámpara	60	4
Plancha	1000	0.5
Refrigerador	250	6
Televisión	250	4
Licuada	150	0.16
Radio	70	4.3
Lavadora	500	0.6
Horno Microondas	1450	0.5
Cafetera	600	0.7
Tostador	1100	0.16
Computadora	200	3

Fuente: elaboración propia, adaptado del documento cómo calcular el consumo de energía eléctrica. p. 4.

Proyectando una casa modelo con aparatos básicos de uso común, se establece la siguiente carga por casa:

Tabla II. Modelo de carga instalada por casa.

ELEMENTO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS USO DIARIO	ENERGÍA (Wh)
Lámpara	2	20	4	
Lámpara	3	40	2	
Radio	1	50	5	
Televisión	1	100	4	
Plancha	1	1000	0.5	
Refrigerador	1	250	6	
Licuadaora	1	150	0.16	
			Total	

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el valor de la energía se utiliza la siguiente relación:

Ecuación 3

$\text{Energía} = \text{cantidad} * \text{potencia (W)} * \text{horas uso diario}$
--

A continuación se presenta el cálculo respectivo para cada aparato:

$$\text{Energía (lámparas 20 W)} = 2 * 20 \text{ W} * 4 \text{ h} = 160 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (lámparas 40 W)} = 3 * 40 \text{ W} * 2 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (radio)} = 1 * 50 \text{ W} * 5 \text{ h} = 250 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (television)} = 1 * 100 \text{ W} * 4 \text{ h} = 400 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (plancha)} = 1 * 1000 \text{ W} * 0.5 \text{ h} = 500 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (refrigerador)} = 1 * 250 \text{ W} * 6 \text{ h} = 1500 \text{ Wh}$$

$$\text{Energía (licuadaora)} = 1 * 150 \text{ W} * 0.16 \text{ h} = 24 \text{ Wh}$$

Se completa la tabla II con los datos anteriores y se suman los valores de la columna de energía:

Tabla III. Datos completos del modelo de carga.

ELEMENTO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS USO DIARIO	ENERGÍA (Wh)
Lámpara	2	20	4	160
Lámpara	3	40	2	240
Radio	1	50	5	250
Televisión	1	100	4	400
Plancha	1	1000	0.5	500
Refrigerador	1	250	6	1500
Licuadaora	1	150	0.16	24
			Total	3074

Fuente: elaboración propia.

Para calcular el total de energía diaria requerida se considera un respaldo del 20% por pérdidas y se emplea la siguiente relación:

Ecuación 4

$$Ed = \text{energía (Wh)} * 1.2$$

$$Ed = 3074 * 1.2 = 3688.8 \text{ Wh/d}$$

Para obtener el valor en kWh se utiliza:

Ecuación 5

$$Ed \text{ (kWh)} = Ed / 1000$$

$$Ed = 3688.8 / 1000 = 3.6888 \text{ kWh/d}$$

Multiplicando el resultado por un conjunto de 500 casas se obtiene el valor de 1844.4 kWh/d.

Para el cálculo del diámetro necesario del aerogenerador, que cubra esa carga, puede determinarse en términos aproximados por:

Ecuación 6

$$D = \sqrt{\frac{E_d}{C_p \cdot v^3 \cdot 10.47}}$$

Donde a falta de datos del fabricante, del aerogenerador, se puede sustituir C_p por valores entre 0.2 y 0.3.

Sustituyendo: $E_d = 1844400 \text{ Wh/d}$

$v = 7 \text{ m/s}$ utilizada únicamente como referencia

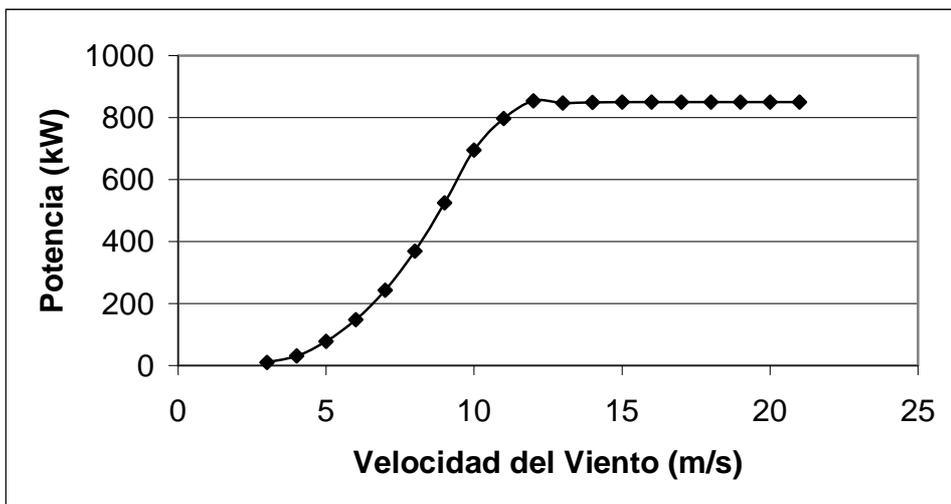
$C_p = 0.25$

$$D = \sqrt{\frac{1844400}{0.25 \cdot 7^3 \cdot 10.47}} = 45.32 \text{ m, aproximadamente } 45 \text{ m}$$

Esto se puede interpretar que para cubrir la demanda eléctrica de un conjunto de 500 casas con servicios básicos, se necesita un aerogenerador con un diámetro de 45 metros. Existen aerogeneradores comerciales de este tipo y con superiores características, los cuales se pueden instalar a diferentes alturas según las especificaciones correspondientes.

Entre los aerogeneradores que cumplen con el cálculo anterior, se presenta a continuación la siguiente la curva de potencia:

Figura 6. **Curva de potencia aerogenerador de 850 kW.**



Fuente: Gamesa. Catálogo G58-850 kW. p. 5.

De la gráfica se observa que para una velocidad de 7 m/s la potencia obtenida es de aproximadamente 242 kW. Datos del fabricante:

- Diámetro del rotor: 48 metros
- Velocidad de conexión: 3 m/s
- Velocidad nominal: 12 m/s
- Velocidad de corte 21 m/s

Como los vientos no son constantes durante todo el día si el aerogenerador trabaja como mínimo 6 horas al diarias, tomando como referencia esté dato para la evaluación del estudio, la energía producida esta definida por:

Ecuación 7

$$E = p * t$$

Donde:

p = potencia en kW

t = tiempo en horas/día

Sustituyendo valores:

$$E = 242 \text{ kW} * 6 \text{ h/d} = 1452 \text{ kWh/d}$$

Esta producción de energía cubre la demanda de aproximadamente 393 casas del modelo elegido.

Si se llega a trabajar a velocidad nominal de 12 m/s la potencia obtenida sería de 854 kW y una energía diaria de 5124 kWh/d, con lo cual se obtendría un mejor aprovechamiento del aerogenerador.

2.7.2. Parque eólico

Para aprovechar la energía eólica existe la posibilidad de implementar un parque eólico, que no es más que la instalación en conjunto de varios aerogeneradores conectados a un sistema en común.

Con el aerogenerador de 850 kW, trabajando a 7 m/s, se cubre la demanda de 393 casas, con la instalación de únicamente 3 aerogeneradores de este tipo se cubre la demanda de 1179 casas, del modelo presentado, beneficiando al 78% de la población de la aldea San Luis.

Entre más alta sea la potencia del aerogenerador instalado, menor es la cantidad de unidades necesarias para cubrir la demanda requerida y mayor es la población beneficiada. Posteriormente se establece la capacidad energética del parque eólico propuesto, al definir que otra energía renovable disponible es sugerida como complemento a la energía eólica.

Para la instalación del parque eólico, hay que considerar la disponibilidad y uso actual del terreno, que no por situaciones políticas o de cualquier otra índole se tenga que abandonar o renegociar su uso, estimando el tiempo de vida útil del proyecto a 20 años. Según el Perfil Ambiental 2006 las tierras de San José Pinula están sobre utilizadas pero un parque eólico necesita únicamente el 1% del terreno ocupado; el otro 99% del terreno puede servir para agricultura o ganadería, la disponibilidad del terreno depende específicamente del convenio al que se llegue con el dueño de las tierras.

2.8. Empresa de generación de energía eléctrica a base de energía eólica

Generalmente la velocidad del viento aumenta con la altura, por lo que al aumentar la altura de las torres que soportan el aerogenerador aumenta la potencia generada, disminuye el número de unidades a instalar, pero al mismo tiempo aumenta el costo de la inversión.

La fuerza del viento es variable y la producción de energía eléctrica a base de energía eólica es intermitente y aleatoria, por lo cual sería necesario ir almacenando energía en los momentos de mayor producción para luego consumirla en los momentos de baja producción, teniendo en cuenta que todo sistema de almacenamiento tiene pérdidas, habría que generar una cantidad de energía eléctrica mayor a la demandada.

Uno de los inconvenientes que se presentan para la creación de un sistema aislado de generación de energía eléctrica en San José Pinula es que actualmente todas sus aldeas cuentan con este servicio y un sistema aislado aplica a comunidades lejanas donde la energía eléctrica aun no haya llegado. Por lo cual habría que considerar la posibilidad de que en lugar de un sistema aislado, se pueda instalar una empresa de generación de energía eléctrica conectada al SNI que pudiera ser administrada por este municipio, para que su población siguiera siendo la beneficiada.

El análisis presentado en este capítulo pretende estudiar exclusivamente la disponibilidad del recurso eólico en condiciones ideales, pero en realidad se deben de considerar otros factores.

A continuación se presenta, de una forma generalizada, una lista de los parámetros a considerar para la creación de una central eólica, cuya aplicación requiere de investigación de campo, inversión en equipo de medición, inversión en personal, financiamiento por parte del municipio ó empresa interesada en el fomento de energías renovables. Lo cual se encuentra fuera del alcance del presente estudio, se presentan únicamente para tener una guía a seguir en el aprovechamiento de este recurso:

- Estudio del potencial eólico disponible: se debe de estudiar el potencial eólico disponible en la zona donde se pretende instalar el parque eólico, con el objeto de velar por su rentabilidad y diseño. Se deben de analizar las variadas condiciones climáticas entre ellas: la densidad del aire, la intensidad de turbulencia, la velocidad media del viento, la dirección predominante del viento, el efecto de la topografía en la velocidad del viento y la inclinación del flujo de viento sobre cada aerogenerador.

- Adaptación de los datos del viento al emplazamiento: la estación anemométrica con la que se efectúen las mediciones puede estar a una altura de 25 metros, mientras que el eje de los aerogeneradores se encuentra a una altura superior, dado que el viento aumenta con la altura se debe de realizar una corrección en la altura de los datos obtenidos, por medio de un modelo matemático.
- Cálculo de la energía generada por el aerogenerador: con los valores medios mensuales de la velocidad del viento, no es posible realizar un cálculo con un 100% de fiabilidad, mediante las tablas de producción de aerogeneradores que facilitan los fabricantes, es posible realizar un cálculo aproximado de la producción anual en MWh.
- Memoria descriptiva: en ella se incluye el objeto del proyecto, nombre y domicilio social del promotor o titular del parque eólico proyectado, ubicación geográfica del emplazamiento, las normativas de aplicación, las instalaciones que constituyen el parque eólico, elección y descripción de las infraestructuras eólicas, descripción del aerogenerador elegido, tipos de mantenimiento, red eléctrica interna del parque, comunicaciones, entre otros.
- Memoria de cálculo: estará constituida por los métodos de cálculo y los resultados que justifican las diferentes soluciones adoptadas. Conteniendo, entre otros, cálculos: eléctricos, estructurales, de movimiento de tierras, referidos a la normativa de prevención de incendios.

- Estudio de flujo de potencia: en este análisis se calculan las potencias activas y reactivas que discurrirán por las diferentes líneas que constituyen el sistema eléctrico de potencia para los diferentes estados de carga en régimen estacionario, y se determina el voltaje en los diferentes nodos donde el voltaje no es controlable.
- Pliego de condiciones: se incluye la redacción de un pliego de condiciones en el que se detallen los aspectos característicos de cada instalación, entre los cuales se encuentran pliego de condiciones para: la obra civil, instalaciones eléctricas en bajo voltaje, líneas eléctricas subterráneas de alto voltaje, centro de transformación, etc.
- Estudio de seguridad y salud: precisará las normas de seguridad y salud aplicables al proyecto, contemplando los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas necesarias para ellos; los riesgos laborales que no puedan ser evitados o eliminados especificando las medidas preventivas para controlar o reducir dichos riesgos.
- Estudio del impacto ecológico: será elaborado cuando la normativa medioambiental así lo exija, con el fin de prevenir un alto impacto ecológico negativo. Además, se deberá analizar el presupuesto para llevar a cabo el proyecto y presentar los planos para su ejecución. Cada emplazamiento en particular tiene sus variantes las cuales debe de considerar el proyectista y deberán ser analizadas en forma individual y específica para cada situación.

3. OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE DISPONIBLE

Una sola fuente de energía no es capaz, por si sola, de mantener un sistema eléctrico funcionando y abastecer de suficiente energía a una carga determinada, es por ello que se analiza de una forma superficial cuales son las otras fuentes de energía renovable disponibles en la Aldea San Luis, y establecer cual es la que mejores condiciones presenta para servir de complemento a la energía eólica.

3.1. Solar

3.1.1. Recurso disponible

Se denomina energía solar fotovoltaica a la forma de obtener energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. El proceso simplificado consiste en: los paneles o módulos fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores, que al recibir radiación solar provocan saltos electrónicos, generando voltaje en sus extremos, se genera energía eléctrica a bajos voltajes en corriente continua, se transforma con un inversor a corriente alterna, mediante un centro de transformación se eleva el voltaje y se inyecta a la red eléctrica disponible.

En áreas aisladas, donde se requiere poca potencia eléctrica, el acceso a la red es difícil y si se cuenta con recurso solar, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa viable.

Comúnmente son conocidos como paneles, pero su nombre técnico correcto es módulo, debiendo hacer una pequeña diferencia entre módulo fotovoltaico y panel fotovoltaico aunque ambos poseen la misma finalidad. Un panel fotovoltaico es una estructura destinada a captar la radiación solar, mientras que un módulo fotovoltaico es un conjunto de paneles destinados a captar radiación solar a mayor escala.

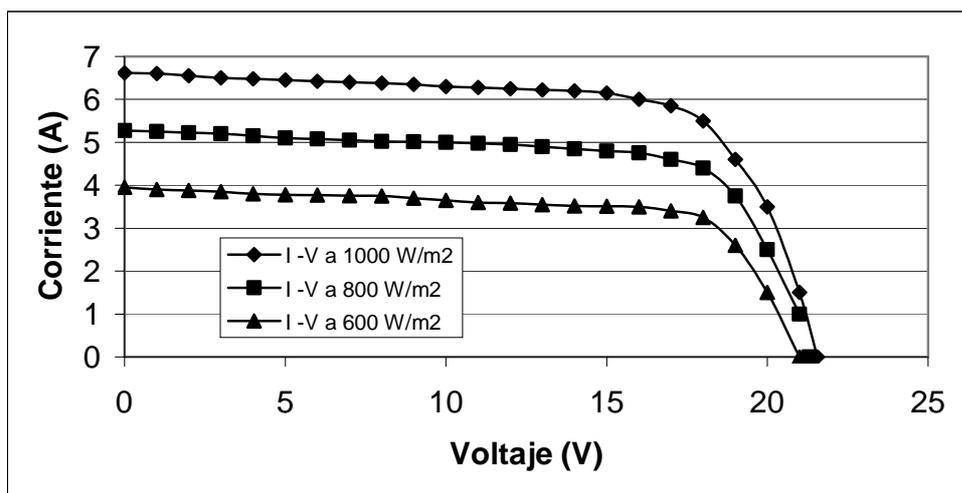
La conexión de varios módulos lleva a crear una central fotovoltaica, la cual puede estar en un sistema aislado ó conectada al sistema nacional interconectado, para autoabastecimiento o para comercialización. Una vez decidida su función, es necesario elegir el tipo de panel para el módulo: monocristalino, policristalino o amorfo, y establecer la potencia que puede generar.

El parámetro estandarizado para clasificar la potencia se denomina potencia pico, que corresponde a la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo condiciones estandarizadas, siendo este:

- Radiación solar de 1000 W/m^2
- Temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (no temperatura ambiente)

Para determinar que voltaje se genera bajo estas condiciones, en un módulo fotovoltaico, se presentan las siguientes graficas:

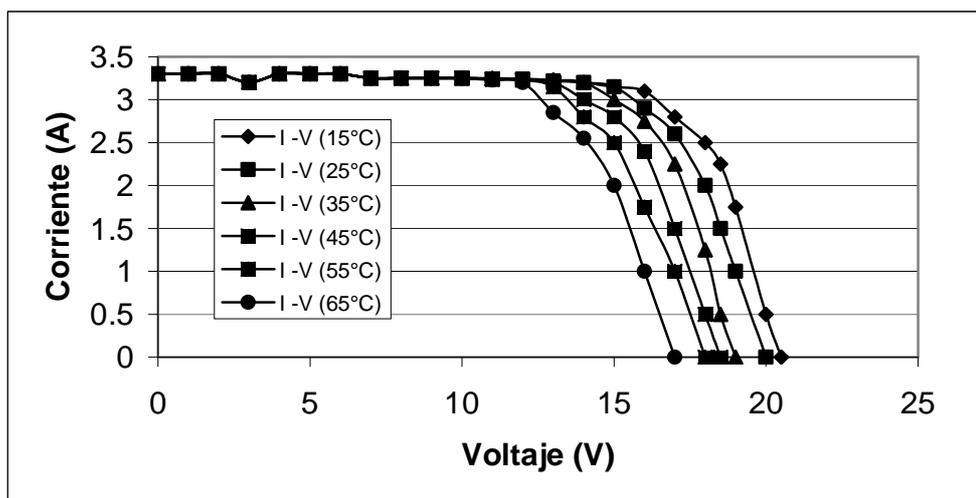
Figura 7. Variación de la curva I-V en función de la irradiación solar incidente a temperatura de célula constante.



Fuente: Manual de instalación, uso y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos Isofotón gama estándar. p. 4.

De la gráfica se observa que, si se toma como referencia la línea con irradiación de 1000 W/m², la corriente se mantiene casi constante hasta los 15 voltios al sobrepasar dicho voltaje la corriente empieza a decaer hasta llegar a cero. También se observa que al reducir la irradiación solar se reduce la corriente considerablemente. En función de la radiación incidente, la temperatura y la carga que esté alimentando, un módulo fotovoltaico podrá trabajar a distintos valores de corriente y voltaje; los datos anteriores son de laboratorio y pueden variar según las condiciones del emplazamiento.

Figura 8. Variación de curva I-V en función de la temperatura de las células a radiación incidente constante.



Fuente: Manual de instalación, uso y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos Isotofón gama estándar. p. 4.

De la gráfica se observa que, al ir aumentando la temperatura, la corriente se mantiene con valores de voltaje entre 0 V a 12 V; al superar ese rango la corriente disminuye en valores considerables hasta llegar a cero y el voltaje disminuye entre 20 V y 16 V.

La temperatura de célula, a la cual se hace mención, no es la temperatura ambiente sino que la célula se calienta al incidir la luz del sol sobre ella. El incremento de la temperatura debido a la temperatura ambiente, depende de las características de cada célula y de la construcción del módulo.

Según el mapa del potencial solar proyectado para la República de Guatemala, disponible en publicaciones del Ministerio de Energía y Minas, ó más detallado en el Perfil Ambiental 2006, se cuenta para el municipio de San José Pinula con una radiación solar directa anual, en un rango de 4.7 a 4.9 kWh/m²/día.

Este dato supera las condiciones mínimas para que trabaje un módulo fotovoltaico, afirmándose con ello que se cuenta con el recurso necesario para ser aprovechado en un sistema de generación aislado.

Los paneles solares fotovoltaicos comerciales en determinadas condiciones tienen rendimientos entre el 12% y 18% suelen montarse en estructuras giratorias que disponen de sensores y un sistema de control, produciendo un seguimiento de la trayectoria aparente del sol, para obtener una mejor incidencia.

- Entre las ventajas de esta energía están: en la mayor parte del planeta puede instalarse una planta de energía fotovoltaica, su generación depende de factores ambientales, una comunidad puede tener su propia planta de generación de energía fotovoltaica y distribuirla internamente, no emite gases ni líquidos nocivos, exige muy poco mantenimiento, no necesita radiación solar directa, funciona también en días nublados.

Una ventaja de estos sistemas radica en la amortización del producto, es una energía barata pero sólo a largo plazo, utilizándolos se reduce en más de 60% los costos de climatización y electricidad. La vida útil de los módulos supera los 20 años.

- Entre las desventajas están: alto costo, la generación de 1 kWh de energía fotovoltaica es alto; comparado con el precio promedio de 1 kWh producida por medios tradicionales; dependiendo del país y la energía primaria utilizada para la generación de electricidad, variabilidad de generación por depender de la radiación y factores climáticos.

La energía solar es la más recomendable y utilizada para un sistema aislado en el cual se desee utilizar únicamente fuentes renovables de energía. Existen en el mercado equipos eléctricos que trabajan en conjunto la energía solar y la energía eólica.

3.1.2. Aprovechamiento

Aparte del aprovechamiento directo que tiene en los cultivos, esta fuente puede ser utilizada para generar energía eléctrica y ser utilizada en sistema de riegos de la agricultura de la aldea, en las granjas o fincas del municipio, alumbrado de gallineros ó la utilización de aparatos electrodomésticos y alumbrado de viviendas.

Lo que hay que considerar es la adquisición del terreno para el período de uso, ya que dependiendo de la cantidad de módulos instalados se necesita de un área considerable para el emplazamiento.

Para determinar la cantidad de módulos necesarios en una instalación fotovoltaica, se desarrolla el siguiente ejemplo:

Los datos a continuación presentados fueron tomados de Helios Technology uno de los fabricantes de equipo fotovoltaico, pueden variar según el fabricante elegido y lugar estimado para su instalación, se presentan únicamente con fines ilustrativos.

Tabla IV. **Datos para calcular una instalación fotovoltaica.**

DATOS:	
Eficiencia Regulador + Batería =	0.88
Eficiencia Batería + Prof. Descarga =	0.4
V - batería - trabajo =	12.4 Vdc
V - batería - disponible =	12 Vdc
Horas de luz por día =	5 h/d
Días de autonomía =	8
Potencia panel disponible =	230 Wp
Eficiencia del Inversor =	0.94

Fuente: USAC, Facultad de Ingeniería. Curso sistemas de generación.

Se retoma el ejemplo presentado en el capítulo anterior, modelo de carga para una casa, utilizando el resultado del total de energía diaria requerida, tomado de la Tabla III: $E_t = 3.074 \text{ kWh/d}$.

Multiplicando ese valor para un conjunto de 350 casas la cantidad de energía necesaria sería: 1076 kWh/d .

Se utiliza la siguiente metodología para realizar todos los cálculos del equipo fotovoltaico necesario que cubra esa demanda:

Ecuación 8

A partir del consumo energético teórico se debe de calcular el consumo energético real, para tomar en cuenta los diferentes factores de pérdida que existen en la instalación fotovoltaica.

$$E_d = E_t / R$$

Donde:

E_t = Energía teórica

R = parámetro de rendimiento global de la instalación, definido como:

Ecuación 9

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - (K_a * N) / P_d)$$

Donde:

K_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador

0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas

0.1 en sistemas con descargas profundas

K_c = Coeficiente de pérdidas en el convertidor

0.05 para convertidores senoidales puros, régimen óptimo

0.1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo

K_v = Coeficiente de pérdidas varias

Agrupar pérdidas como (rendimiento red, efecto Joule, etc.)

0.05 - 0.15 como valores de referencia

Ka = Coeficiente de autodescarga diario

0.002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd

0.005 para baterías estacionarias de Pb-ácido

0.012 para baterías de alta autodescarga

N = Número de días de autonomía de la instalación

4 - 10 días como valores de referencia

Pd = Profundidad de descarga diaria de la batería

No excederá el 80% referida a la capacidad del acumulador

Considerando los siguientes valores para los coeficientes:

Kb = 0.1

Kc = 0.05

Kv = 0.1

Ka = 0.005

N = 8

Pd = 0.4

Sustituyendo valores:

$$R = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.1) * (1 - (0.005 * 8) / 0.4) = 0.675$$

Sustituyendo valores en la ecuación 8:

$$Ed = 1076000 / 0.675 = 1594074 \text{ Wh/d}$$

Ecuación 10

$$C = \frac{E * N}{V * Pd}$$

Donde:

C = Capacidad del banco de baterías en Ah

E= Energía diaria en W

N = Número de días de autonomía de la instalación

V = Voltaje nominal del acumulador

Pd = Profundidad de descarga

$$C = \frac{1594074 * 8}{12 * 0.4} = 2656790 \text{ Ah}$$

Ecuación 11

$$Np = \frac{E}{0.9 * Wp * HPS}$$

Donde:

Np = Número de paneles solares

E = Energía diaria en W

Wp = Potencia pico del panel

HPS = Horas de pico solar

$$N_p = \frac{1594074}{0.9 * 230 * 5} = 1540 \text{ paneles}$$

Ecuación 12

Como comprobación del funcionamiento adecuado se calcula el factor de utilización:

$$F_i = \frac{\text{Energía disponible}}{\text{Energía consumida}} = \frac{N_p * 0.9 * W_p * HSP}{E}$$

$$F_i = \frac{1540 * 0.9 * 230 * 5}{1594074} = 0.9998$$

Con lo cual se puede comprobar que se cumple con la demanda energética necesaria, con un factor de cobertura del 99.98%.

Ecuación 13

Para el regulador de carga necesario:

$$I_{max} = I_{cc} * N_p$$

Donde:

I_{max} = Máxima intensidad nominal a la que trabaja el regulador

I_{cc} = Intensidad de corto circuito de cada panel obtenida del catálogo

N_p = Número de paneles

$$I_{\max} = 8.30 * 1540 = 12782 \text{ A}$$

Por último, para seleccionar el inversor necesario se debe estimar la potencia instantánea máxima que la instalación va a demandar, dando además un margen de seguridad para posibles conexiones adicionales. Teniendo presente que los inversores son equipos con bajo rendimiento a bajas cargas de trabajo por lo que no hay que utilizar un sobredimensionamiento en su elección.

3.2. Hidráulica

3.2.1. Recurso disponible

La energía hidráulica se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de los ríos, saltos de agua o mareas. Se denomina energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa únicamente la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

Se puede transformar a muy diferentes escalas, utilizada desde hace siglos para mover un rotor de palas y generar movimiento en molinos, su utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de represas, no consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.

De manera simplificada el proceso consiste en: el agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar, la energía cinética, por una turbina hidráulica la cual transmite, la energía mecánica, a un alternador el cual la convierte en energía eléctrica. Las turbinas pueden ser de varios tipos, según la central: Pelton para saltos grandes y caudales pequeños, Francis para salto más reducido y mayor caudal, Kaplan para salto muy pequeño y caudal muy grande y de hélice.

Entre las formas más frecuentemente utilizadas para explotar esta energía están: a) desvío del cauce de agua, b) interceptación de la corriente de agua. Existe la opción, en menor escala, de la energía mini-hidráulica, las mini centrales han sido utilizadas debido a su pequeño tamaño y facilidad de instalación, se clasifican en: a) centrales de agua fluente, b) centrales de flujo regulado, c) centrales de salto.

San José Pinula está limitado al este y sur por tributarios del río Teocinte, cuyo cauce es utilizado por la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala -Empagua-. Según esta entidad, más de diez mil millones de litros de líquido potable, apto para el consumo humano, son producidos cada mes. Para la utilización del agua de superficie, Empagua dispone de las plantas de tratamiento de agua: Lo de Coy, Santa Luisa, El Cambray y Las Ilusiones.

Empagua satisface las necesidades de más de dos millones y medio de personas, además brinda el suministro a pobladores de varios sectores de los municipios cercanos, convirtiéndola en la empresa regional que más personas atiende con agua para consumo humano.

El sistema de agua Las Ilusiones y estación de bombeo el Atlántico está ubicado en la 4ª. avenida, final colonia Kennedy, zona 18, con una producción diaria de 25,000 m³; inaugurado en 1972, este sistema fue diseñado para captar por medio de una estación de bombeo las aguas de los ríos: Teocinte, Bijague y Ocote, posteriormente tratadas en la planta.

El sistema de agua Santa Luisa, ubicado en Acatán, Santa Rosita, zona 16, con una producción diaria de 10,000 m³, cuya construcción data del siglo XIX, abastecida por el vertedero Canalitos, empezó a funcionar hasta 1938 como planta de tratamiento al introducirle las aguas de la presa El Teocinte.

Una buena parte del abastecimiento de agua en la ciudad de Guatemala proviene de esta presa, que retiene y reúne las aguas de los ríos El Teocinte, Las Piedrota y San José Pinula. El agua ingresa por medio de dos tuberías: Teocinte I con diámetro de 18 pulgadas y Teocinte II con diámetro de 20 pulgadas. La fuente Canalitos ingresa por un sistema de bombeo.

Las estaciones hidrometeorológicas más cercanas al municipio son: a) El Sisimite, en la cuenca Motagua, río Motagua, ubicada en el municipio de Chuarrancho, Guatemala, perteneciente al INDE y en estado de operación, b) Panajax, en la subcuenca del río Los Plátanos, en el municipio de Sanarate, El Progreso, perteneciente al Insivumeh y en estado de operación.

Estas estaciones tienen registros de caudal para el río Motagua con un promedio de 35.85 m³/s y el río Los Plátanos con un promedio de 15.59 m³/s. De la información que se tuvo acceso, para el río Teocinte, no se encuentran registros de caudal. Lo que se debe de considerar es que el caudal del río Teocinte ya está siendo utilizado para sistemas de agua potable.

- Entre las ventajas del uso de este tipo de energía están: es una energía renovable; limpia y de alto rendimiento energético, elimina los costos de los combustibles, costos bajos de operación porque las plantas están automatizadas, no producen directamente dióxido de carbono, produce trabajo a temperatura ambiente, no usa sistemas de refrigeración o calderas, almacena agua para regadíos, evita inundaciones por regular el caudal.

- Entre los inconvenientes están: la construcción de embalses supone la inundación de importantes extensiones de terreno, puede ser disruptiva a los ecosistemas acuáticos río arriba y río abajo; matando mucha vida acuática, existencia de contaminación del agua; el agua embalsada no tiene condiciones de: salinidad, gases disueltos, temperatura y nutrientes.

- El impacto ambiental es un tema muy discutible: la construcción y operación de la represa y el embalse constituyen la fuente principal de impactos, con la inundación de la tierra para formar el embalse y la alteración del caudal aguas abajo. Ha aumentado la crítica de estos proyectos durante la última década, los críticos más severos sostienen que los costos: sociales, ambientales y económico de estas represas pesan más que sus beneficios y que, por lo tanto, no se justifica la construcción de grandes represas, otros mencionan que, en algunos casos, los costos ambientales y sociales pueden ser evitados o reducidos a un nivel aceptable.

3.2.2. Aprovechamiento

El problema principal encontrado para el aprovechamiento de esta energía es: a) el cauce del río ya esta siendo utilizado, b) se necesitan realizar estudios para verificar la viabilidad de su uso y c) no se necesitan únicamente los autorizaciones del MEM, si no que se hace necesario una consulta popular en las comunidades cercanas al lugar para conocer su opinión.

Los estudios necesarios a realizar son: demanda, socioeconómico, hidrológico y pluviométrico, cartográfico y topográfico, geotécnico, impacto ambiental, diseño y selección de equipo.

Después de realizar los estudios correspondientes se obtiene una serie de datos necesarios para calcular la energía disponible. Construyendo una curva de duración de caudales de un año, para obtener: el caudal de diseño, caudal máximo, caudal mínimo, caudal promedio y caudal ecológico. La potencia puede calcularse con:

Ecuación 14

$$P = 9.8 * H * Q * n$$

Donde:

P = potencia del recurso en kW

Q = caudal en m³/s

H = altura en m.

9.8 = peso específico del agua

n = eficiencia de la central

Como ya se mencionó para el río Teocinte, no se encuentran documentados registros de caudal, por lo cual se hizo necesario realizar una visita de campo a la aldea San Luis, por donde pasa el río Teocinte, con el acompañamiento del presidente del Comité Pro Mejoramiento y de Agua Potable, encontrándose la siguiente información:

Aguas arriba de la presa Teocinte no se puede ubicar una mini-hidroeléctrica pues las aguas son prioritarias para Empagua. Aguas abajo se visito el lugar y se pudo observar que el caudal residual que deja la presa Teocinte no es suficiente para ser utilizado en una mini-hidroeléctrica, puede calificarse únicamente como caudal ecológico.

Con esta referencia se considera que no es viable la utilización de la energía hidráulica, para la generación de energía eléctrica, en la aldea San Luis.

3.3. Biomásica

3.3.1. Recurso disponible

Las plantas usan el sol para crecer, la materia orgánica de las plantas se llama biomasa y almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. En el concepto de biomasa no se debe incluir la turba, combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, que a efectos de emisiones de dióxido de carbono equivale a un combustible fósil.

La biomasa es un tipo de energía reciclable que se produce a partir de: residuos agrícolas, residuos forestales, restos de madera de las industrias forestales, cultivos energéticos, residuos ganaderos. La biomasa puede ser usada directamente como combustible, denominado biocombustible, para la producción de biodiesel.

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en: a) biomasa natural: se produce en la naturaleza sin intervención humana, como las podas naturales de los bosques, b) biomasa residual: residuo generado de actividades agrícolas y ganaderas, así como residuos sólidos de la industria agroalimentaria, transformación de la madera o reciclado de aceites y c) cultivos energéticos: son aquellos destinados a la producción específicamente de biocombustibles.

Un equívoco muy común es utilizar “biomasa” como sinónimo de la energía útil que puede extraerse de ella, lo que genera confusión debido a que la relación entre energía útil y biomasa es variante y depende de innumerables factores. Por ejemplo: la energía útil puede extraerse por combustión directa de biomasa o de la combustión de combustibles obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas, procesos en los cuales se pierde una cantidad de la energía útil original.

Desde el punto de vista energético, se puede utilizar directamente, como es el caso de la leña, o indirectamente en forma de biocombustibles, entre los cuales están: biodiesel, bioalcohol, biogás y bloque sólido combustible. Pero al igual que no se considera al vino como biomasa, debe de evitarse denominar biomasa a los biocombustibles; pues el etanol puede obtenerse del vino por destilación. El termino biomasa debe reservarse únicamente para denominar la materia prima en la fabricación de biocombustibles.

La biomasa puede proporcionar energía sustitutiva a los combustibles fósiles, por medio de biocombustibles: líquidos, gaseosos o sólidos, siempre que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de no incurrir en el consumo de otros combustibles en el proceso de transformación y de que la utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles, como: abono y alimento.

En el caso de utilizar biomasa como energía alternativa, hay que analizar ciertas características a la hora de emitir juicio si el combustible obtenido puede considerarse como una fuente renovable de energía.

En general el uso de biomasa, o sus derivados, puede considerarse neutro en términos de emisiones netas de dióxido de carbono, si se emplea en cantidades iguales a la producción neta de biomasa del ecosistema explotado. En procesos de energía puede obtenerse combustibles con emisiones netas significativamente menores que las de combustibles fósiles comparables, sin embargo, el uso de procesos inadecuados puede conducir a combustibles con mayores emisiones.

San José Pinula por el tipo de agricultura y crianza de ganado con que cuenta tiene recurso de biomasa, que incluye la materia orgánica de origen vegetal o animal. Para obtener la materia prima se puede usar los desechos orgánicos, teniendo disponible madera, residuos agrícolas, desechos animales, etc., o se pueden implementar cultivos con el fin de extraer únicamente su contenido energético, tema discutible porque se puede incurrir en el desplazamiento de otros cultivos con fines alimenticios.

Del Perfil Ambiental de Guatemala 2006 se presentan, para este municipio, datos a considerar para la explotación de la biomasa:

- Índice de demanda de tierras, 2003: un nivel alto
- Cobertura vegetal y uso de la tierra, 2003: en agricultura y bosque natural
- Intensidad del uso de la tierra, 1999: un uso correcto y sobre utilizado
- Índice y deterioro de la tierra, 2003: un nivel alto
- Índice de capacidad de respuesta al deterioro de las tierras, 2003: un nivel bajo
- Cobertura forestal, 2001: áreas de bosque y áreas de no bosque
- Índice de presión sobre los ecosistemas, 2003: menor rango: 0.202 - 0.308 y mayor rango: 0.417 - 0.523
- Índice escasez hídrica anual, 2005: época seca: crisis, época lluviosa: medio
- Déficit de disponibilidad de alimentos, 2002: nivel alto, rango de 0.6 - 0.8

Entre las ventajas del uso de esta energía están: no emite gases que provocan efecto invernadero, no es causa de lluvia ácida, su uso como biocombustible en motores de combustión interna reduce el empleo de los motores alimentados por combustibles fósiles, ayuda a la economía de los sectores rurales, es abundante, no proporciona contaminación al ecosistema.

Entre sus desventajas están: el rendimiento en calderas de biomasa es inferior al de las que usan combustible fósil, se necesita mayor cantidad de biomasa para conseguir la misma cantidad de energía con otras fuentes, los canales de distribución están menos desarrollados que los de combustibles fósiles, los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren unos mayores costos de operación y mantenimiento.

3.3.2. Aprovechamiento

La biomasa se puede aprovechar para extraer, por medios físicos, termoquímicos y biológicos, combustible para accionar motores de combustión interna y generar energía eléctrica para abastecer servicios para el criado de cerdos o ganado vacuno, electrificación de viviendas, entre otros.

Los procesos termoquímicos, se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Útiles en caso de biomasa seca, en particular la paja y madera, los procesos son:

a) Combustión: es la oxidación completa de la biomasa por oxígeno del aire, libera agua y gas carbónico, pudiendo servir para la calefacción doméstica ó producción de calor industrial, b) pirolisis: es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, utilizado para producir carbón vegetal. También lleva a la liberación de un gas pobre, que puede servir para accionar motores diesel, ó bien servir de base para la síntesis de un alcohol “el metanol”.

Entre los métodos biológicos están: a) la fermentación alcohólica: es una técnica empleada en los azúcares, pudiendo utilizarse también con la celulosa y el almidón. La destilación permite obtener alcohol etílico, siendo una operación muy costosa en energía, obteniendo etanol, cuando es puro o se mezcla con gasolina recibe el nombre de gasohol, b) la fermentación mecánica: es la digestión anaeróbica de la biomasa por bacterias, idónea para la transformación de biomasa húmeda.

En una central eléctrica de biomasa, la fuente primaria de energía es el residuo del olivar, conocido como orujillo de la aceituna. Es un tipo de central térmica, usando como combustible la energía contenida en el orujillo, el cual se quema en una caldera, y la energía interna se trasfiere en forma de calor al agua que circula por una extensa red de tubos en las paredes de la caldera, pasando el agua al estado de vapor, luego el vapor entra a gran presión en la turbina de la central y su expansión hace girar los álabes, obteniendo energía mecánica, produciendo movimiento en el generador para obtener energía eléctrica, después el vapor pasa a su estado líquido para su reutilización.

No hay un índice de la producción neta de biomasa para la Aldea San Luis, pero se estima que al igual que otras áreas del país, por el tipo de industria que posee, utiliza los residuos y desechos de biomasa para el abono de agricultura y alimentación de ganado. Además, según los índices que presenta el Perfil Ambiental 2006, las tierras de San José Pinula, entre otros, tienen: nivel alto de demanda, uso correcto y sobre utilizado, deterioro alto, baja capacidad de respuesta al deterioro, por lo cual no sería conveniente llevar a cabo un cultivo con fines de extraer únicamente energía Biomásica.

Indicado lo anterior no parece viable explotar la biomasa con fines energéticos, pues, como ya se explicó, el proceso consiste en utilizar biomasa para accionar una central térmica. Para su funcionamiento se necesita, en términos energéticos, mayor cantidad de biomasa para conseguir la misma cantidad de energía que con otras fuentes convencionales y no se debe utilizar para ello más biomasa que la que produce el ecosistema explotado.

3.4. Fuente de energía sugerida para servir de complemento a la energía eólica

Por lo antes expuesto, en este capítulo, se observa que todas las energías renovables disponibles tienen un recurso aprovechable, ya sea para la producción de energía eléctrica ó para la agroindustria del lugar.

La utilización de energía hidráulica, para producir energía eléctrica, no es viable debido a que el caudal principal del río Teocinte ya esta siendo utilizado y el caudal que queda disponible no es suficiente para ser explotado energéticamente. La biomasa se considera que no es viable su transformación energética, es mejor aprovechado su uso como abono en la producción agrícola, por la cantidad de biomasa producida.

La energía que presenta mayor conveniencia, para servir de complemento a la energía eólica es la energía solar, pues la Aldea San Luis cuenta con las condiciones mínimas para el funcionamiento del equipo fotovoltaico, pudiéndose establecer un sistema híbrido eólico-solar. Funcionando cada central de generación en forma independiente y no necesariamente deben estar instaladas en el mismo emplazamiento.

3.4.1. Evaluación de la capacidad energética del proyecto

La capacidad de energía a cubrir está proyectada para las 1500 familias de la Aldea San Luis, San José Pinula, el modelo de casa que se ha utilizado, necesita para su funcionamiento una energía de:

$$E_d = 3.074 \text{ kWh/d.}$$

El total de de energía necesaria se obtiene multiplicando el número de casas por la energía que utiliza cada casa:

$$E_t = 1500 * 3.074 \text{ kWh/d} = 4611 \text{ kWh/d}$$

Añadiendo a este valor una reserva energética del 20% para servicios de alumbrado público, aumentos de carga, entre otros. Se estima un proyecto que produzca una energía diaria de:

$$E_d = 5533 \text{ kWh/d}$$

En el capítulo II se expuso que el aerogenerador de 850 kW, a velocidad de 7 m/s proporciona una potencia aproximada de 242 kW, trabajando como mínimo 6 horas al día se obtiene una energía de 1452 kWh/d, con 3 de estas unidades se tendrían disponibles 4356 kWh/d.

Restando 1177kWh/d del total, a cubrir con la energía fotovoltaica, la cual debe cubrir esta porción y servir de complemento en caso que el sistema eólico tenga alguna falla. En el presente capítulo se realizó un análisis para el aprovechamiento de la energía solar para un total de 1594 kWh/d, con lo cual se cubre la demanda total del proyecto.

En resumen, se sugiere instalar para la Aldea San Luis:

- 3 aerogeneradores de 850 kW c/u.
- 1 parque fotovoltaico con 1540 paneles de 230 W c/u.

Que genere la siguiente energía eléctrica:

- Energía eólica: 4356 kWh/d
- Energía fotovoltaica: 1594 kWh/d
- Total de energía obtenida: 5950 kWh/d

Es evidente que al utilizar los aerogeneradores de 850 kW a una velocidad de trabajo de 7 m/s se está explotando únicamente el 28% de su capacidad de producción energética, se utilizó esta velocidad porque es la que se encuentra registrada en el mapa eólico de Guatemala. Para aumentar el rendimiento de los aerogeneradores es conveniente realizar mediciones de la velocidad del viento a una altura mayor de los 50 metros, para instalar el equipo a ese nivel.

4. MARCO LEGAL

El presente capítulo es un acercamiento al marco legal que se aplica en el país, especialmente para el fomento y uso de energías renovables. No se pretende realizar una recopilación de todo el marco legal aplicado a energía eléctrica, si no que de hacer notar la magnitud de importancia que el estado y las entidades correspondientes le han dado al tema específico de las energías renovables.

Muchos de los recursos naturales con que cuenta el país han sido aprovechados, pero a principios de la década de 1970 se empezó a tratar a un nivel general impulsando el aprovechamiento de energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica para la producción de energía eléctrica.

La creciente demanda a llevado al Ministerio de Energía y Minas -MEM-, que tiene a su cargo la política energética, a tomar acciones por medio de la Dirección General de Energía, siendo está la dependencia del Ministerio encargada del estudio, fomento, control, supervisión y fiscalización de lo relacionado a fuentes renovables de energía.

Actualmente, según el MEM en su publicación “La Energía en Guatemala”, dentro de la política general de Guatemala en el subsector eléctrico, ligada a energías renovables se encuentra: “establecer estrategias para la promoción nacional e internacional de ejecución de los proyectos de recursos renovables estudiados en Guatemala” (2).

(2) Ministerio de Energía y Minas. La energía en Guatemala. p. 4.

El marco regulatorio para estos proyectos son:

- Constitución política de la República de Guatemala
- Ley general de electricidad y su reglamento
- Ley de incentivos a las energías renovables y su reglamento
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista
- Normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

A continuación, desde un punto de vista legal, se describe lo más relevante que promueve el uso de energías renovables:

4.1. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable

La ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable fue creada por el congreso de la República de Guatemala, según decreto ley número 52-2003, mediante la consideración del artículo 119 y 129 de la Constitución Política de la República, con el objeto de promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.

Esta ley, da incentivos a las entidades individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos renovables, siendo estos: “exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado -IVA-, exención del pago del Impuesto Sobre la Renta -ISR-, exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias -IEMA-“ (3).

(3) Guatemala. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. Artículo 5. p. 4.

Luego, según acuerdo gubernativo 211-2005, se crea el reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, “con el objeto de desarrollar los preceptos normativos del decreto ley 52-2003 y asegurar las condiciones adecuadas para la calificación y aplicación concreta de los incentivos establecidos en la indicada ley” (4). Considerándose la ley más relevante para propósitos del aprovechamiento de energía eólica y solar propuesto.

4.2. Ministerio de Energía y Minas

El Ministerio de Energía y Minas es el órgano del estado responsable, entre otras, de: aplicar la ley general de electricidad y su reglamento, dictar políticas energéticas, elaborar informes de evaluación socioeconómica para costear total o parcialmente recursos en proyectos de electrificación rural, promueve el desarrollo de proyectos de energía renovable, califica proyectos de fuentes renovables de energía al amparo de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable y su reglamento.

La Dirección General de Energía es la dependencia de este Ministerio que tiene bajo su responsabilidad: el estudio, fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía que, entre otras funciones, le corresponde: ejecutar las políticas, planes de estado y programas indicativos de las diversas fuentes energéticas, coordinar la identificación, la selección, los concursos para la evaluación socioeconómica, los estudios de ingeniería y construcción de proyectos de electrificación rural.

(4) Guatemala. Reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, del Ministerio de Energía y Minas. Capítulo I, Artículo 1. p. 6.

Dentro de la estructura orgánica de la Dirección General de Energía se encuentra el Departamento de Energías Renovables, el cual “es el responsable de los temas asociados a dichas energías y encargado de elaborar propuestas de políticas al Ministerio que favorezcan su crecimiento, elaborar programas de promoción, planificación de su desarrollo y manejo de las leyes relacionadas con esta actividad” (5).

El Ministerio de Energía y Minas, por medio del acuerdo número AG-110-2002, emite el manual para el trámite de solicitudes de autorización para utilizar bienes de dominio público para la instalación de centrales generadoras, para prestar los servicios de transporte, distribución final de electricidad, autorización temporal y construcción de servidumbres.

El decreto ley número 93-96, por medio del cual el Congreso de la República emite la ley general de electricidad, norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad. El MEM dicta el reglamento de la ley general de electricidad por medio del acuerdo gubernativo 256-97.

El reglamento de la ley general de electricidad considera, en el título de “Autorizaciones para centrales generadoras”, el desarrollo de la generación distribuida renovable, adicionado por los artículos 1 y 3 del acuerdo gubernativo número 68-2007. En el título VI, “Condiciones generales del servicio de distribución” y capítulo IV, se toman en cuenta los precios de los sistemas aislados, cuyo artículo 100 dicta:

(5) Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. Administración funcional de la Dirección General de Energía. p. 8.

“La Comisión en consideración a las características propias de la operación del respectivo sistema aislado y aplicando en todo aquello que sea posible los lineamientos correspondientes estipulados para el SNI, emitirá mediante resolución los procedimientos a seguir en cada caso concreto para la fijación de precios” (6).

Dentro del MEM esta, además, el área de electrificación rural. Para considerar la electrificación rural, dentro del contexto del desarrollo rural, primero se debe de entender su significado o alcance, según una publicación hecha por el este Ministerio, titulada “Área electrificación rural” que la expone así:

“El área de electrificación rural, es el órgano encargado de velar por el desarrollo de la electrificación rural del país a efecto de cumplir con el rol subsidiario del estado tal como está establecido en la ley general de electricidad y su reglamento, para proporcionar el servicio de energía eléctrica a los habitantes del área rural, con el objeto de elevar los escenarios de desarrollo de las poblaciones y asimismo el índice de electrificación, en coordinación con entidades públicas y privadas que estudien y ejecuten proyectos de electrificación rural, incluyendo los aspectos: técnicos, socioeconómicos y ambientales, asociados a la misma”.

Dentro de las principales funciones y atribuciones, que a esta entidad “corresponden para velar por el desarrollo adecuado de proyectos de electrificación rural, establecidas en beneficio de la población”, entre otras, se listan las siguientes:

(6) Guatemala. Reglamento de la ley general de electricidad, del Ministerio de Energía y Minas. Título VI, Capítulo IV, Artículo 100. p. 50.

“Ejecutar las acciones que sean necesarias en la gestión de financiamiento de proyectos, atender las solicitudes de electrificación rural de diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales, elaborar los estudios de evaluación socioeconómica de proyectos de electrificación rural a ser subsidiados por cualquier entidad del estado”.

Además, “elaborar los estudios de prefactibilidad y factibilidad de programas de electrificación rural a ser financiados por entidades nacionales e internacionales, realizar la evaluación y seguimiento de los proyectos ejecutados” (7).

La gerencia de electrificación rural y obras, es el órgano encargado de elaborar planes de electrificación rural de acuerdo a políticas dictadas por el estado de Guatemala a través del MEM y el Instituto Nacional De Electrificación -INDE-.

Las obras de electrificación rural que ejecuta la gerencia, promueve el desarrollo socioeconómico de las poblaciones beneficiadas, a través del aprovechamiento productivo de la electricidad, mejorando el nivel de vida de las personas, incrementado el acceso a los bienes y servicios.

Las funciones de la gerencia son: dirige, coordina, ejecuta y supervisa los programas de electrificación rural de la institución en el interior del país, como son: a) plan de electrificación rural, b) obras de electrificación rural con recursos propios de la institución, con o sin aportes interinstitucionales, c) entrega de materiales como complemento a obras que no pueden ejecutarse en otros programas.

(7) Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. Área electrificación rural. p. 1-3.

4.3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica -CNEE-, fue creada a través de la ley general de electricidad, el primer grupo de comisionados fue nombrado mediante acuerdo gubernativo número 404-97.

Es el órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas con independencia funcional, que entre sus funciones se encuentran, entre otras: cumplir y hacer cumplir la ley general de electricidad y sus reglamentos; e imponer las sanciones a los infractores, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, definir las tarifas de transmisión y distribución sujetas a regulación, dirimir controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico; actuando como árbitro entre las partes, emitir las normas técnicas y velar por su cumplimiento.

Es decir, crea las condiciones propicias y apegadas a la ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica sean susceptibles de ser desarrolladas por toda personal individual o jurídica que desee hacerlo.

Entre las normas emitidas por la CNEE que se deben de tomar en cuenta están: Normas Técnicas del Servicio de Distribución -NTSD-, Normas de Estudio de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte -NEAST-, Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte, -NTUCT-.

Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución -NTDOID-, Normas Técnicas de Diseño y Operación del Sistema de Transporte -NTDOST-, Normas Técnicas de Calidad del Servicio de Transporte y Sanciones -NTCSTS-.

La norma más relevante para el desarrollo de energía renovable es: Normas Técnicas para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable -NTGDR- y usuarios autoprodutores con excedentes de energía. El objetivo de esta última norma es establecer las disposiciones generales que deben cumplir los generadores distribuidos renovables y los distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

4.4. Administrador de Mercado Mayorista

En el artículo 44 de la ley general de electricidad se crea el Administrador del Mercado Mayorista -AMM-, una entidad privada sin fines de lucro cuyas funciones, entre otras, son: coordinación de la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre agentes del mercado mayorista.

Además, establece precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores, específicamente cuando no correspondan a contratos libremente pactados, por lo cual garantiza la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país.

El reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, es creado según acuerdo gubernativo número 299-98, y define los principios generales para el funcionamiento del mercado mayorista, así como la organización, funciones, obligaciones y mecanismos de financiamiento del AMM, al cual se le realizaron reformas según acuerdo gubernativo número 69-2007.

5. COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

5.1. Contratos

A nivel nacional se celebran contratos para el suministro de energía eléctrica, independientemente de la fuente primaria utilizada para la generación de electricidad, que deben cumplir un marco legal establecido para esta actividad y que contienen todos los lineamientos y condiciones a recibir y cumplir por las partes interesadas.

Un contrato de adhesión es un contrato cuyas cláusulas son redactadas por una sola de las partes, en este caso la parte suministradora del servicio de energía eléctrica, con lo cual la otra parte, denominado usuario del servicio, solo se limita a aceptar o rechazar el contrato según su conveniencia.

Para el caso específico de un sistema aislado de energía eléctrica, se deben llevar a cabo dos tipos de contratos, el primero consta del permiso o concesión que el Estado ó la República de Guatemala da a una entidad sobre la generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica en un espacio geográfico determinado y limitado, en este caso es la aldea San Luis, San José Pinula, cuyos lineamientos deben estar contemplados bajo la ley general de electricidad en conjunto con otras leyes y normas aplicables.

El segundo contrato es el que la entidad que avale el proyecto de energías renovables, realice con cada uno de los usuarios, para la generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

Entre las cláusulas que deben de contener dichos contratos, las más relevantes que se pueden mencionar son: la parte suministradora da potencia y energía que se compromete a entregar al usuario y como este debe pagar por el uso del servicio; la capacidad contratada expresada en MW para el suministrador y en kW para el usuario; el precio al que se comprometen en concepto de pago de energía eléctrica; los impuestos que la legislación de carácter general y el sector eléctrico le imponen.

Además, una cláusula del ajuste de precio, que podrá ser fijo durante un plazo establecido y luego puede tener variantes según las restricciones que se impongan. Para el caso de energía eléctrica por fuentes de energía renovable las variantes no necesariamente pueden ser por el precio de la energía primaria, ya que esta no tiene costo alguno en la mayoría de los casos, pero se deben cumplir ciertas metodologías contenidas en las normas para garantizar el suministro.

Se establece un plazo y vigencia de contratos, un sistema de facturación y pagos, moras por incumplimiento de pago, sistema de transporte y distribución; garantizando su funcionamiento, prohibición de reventa, declaraciones y compromisos, entre otros, que dependerán directamente de la parte suministradora según leyes y reglamentos de entidades por parte del estado siendo estas MEM, CNEE y AMM.

5.2. Comercialización

La comercialización de energía eléctrica, ya sea por fuentes renovables o convencionales, se puede efectuar a través de tres formas, las cuales son:

- Mercado de oportunidad o spot: donde los precios varían en forma horaria de acuerdo a requisitos y disponibilidad de equipos que haya en cada momento. El ingreso de máquinas para abastecer la demanda se hace en orden de costos, es decir entra en servicio primero la más económica hasta cubrir la potencia y reserva, una tras otra sucesivamente y las que no son requeridas quedan sin operar.
- Mercado estacional: se definen dos períodos semestrales en el año, relacionadas con épocas de hidraulicidad. En cada período estacional se define un precio estabilizado de la energía eléctrica, en función de lo que se espera costará durante este tiempo.
- Mercado a término: se establece entre un generador y distribuidor o gran usuario por medio de un contrato. Se determinan las condiciones de entrega de la energía eléctrica y el respectivo pago, también los plazos de vigencia y los resarcimientos a una de las partes por incumplimiento de la otra, los precios se pactan libremente.

En Guatemala la entidad encargada de administrar la comercialización de la energía eléctrica es el Administrador del Mercado Mayorista. El tipo de comercialización que puede adoptar un sistema aislado de energía eléctrica es el mercado a término, que sería entre el generador y distribuidor aunque para este caso el generador y distribuidor resulten ser el mismo; si las restricciones regulatorias lo permiten, los contratos se efectuarían entre el distribuidor y cada consumidor final.

Independiente del tipo de comercialización que se adopte, se efectúan contratos por parte de cada uno de los consumidores para el abastecimiento de la energía eléctrica, que deben de estar contemplados dentro del marco legal establecido.

Por parte del distribuidor se debe de tomar en cuenta para estos contratos el tiempo de vida que pueda dársele a la comercialización, que depende de por lo menos dos factores: a) el costo de adquisición de la energía primaria, que en este caso la energía eólica y solar no tienen costo alguno por su adquisición, b) tiempo de vida de los equipos y maquinaria a utilizar, para los aerogeneradores se le estima un tiempo de vida de 20 años y para los módulos fotovoltaicos un tiempo de vida promedio de 25 años.

Debiendo ajustarse a lo que dicte la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, con respecto a la fijación de precios del caso particular a un sistema aislado en la aldea San Luis.

5.3. Facturación

La ley general de electricidad establece que, entre otras, es función de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica definir las tarifas de distribución sujetas a regulación, usará el valor agregado de distribución y los precios de adquisición de la potencia y energía eléctrica para estructurar un conjunto de tarifas.

La facturación por energía eléctrica debe seguir un proceso y una forma de cobro en base a precios establecidos, en un marco legal entre las empresas de distribución y la CNEE.

Aún en un sistema aislado, se considera que puede llegar a existir “el sector regulado y sector no regulado, donde al primero se le establece tarifas reguladas por la CNEE”, que abarca a usuarios con consumo en bajo voltaje y potencia menor o igual a 100 kW. El sector no regulado que lo conforman usuarios con potencia mayor de 100 kW, el cual tiene la posibilidad de negociar sus tarifas (8).

La estructura y forma de administración del sistema aislado, determinarán si el pliego tarifario tendrá los cargos de: generación, transporte y distribución.

En la factura emitida se deben detallar cargos, entre otros:

- Cargo fijo por cliente
- Energía
- Tasa municipal
- IVA
- Generación
- Transporte
- Distribución

Utilizando todos estos datos para el cálculo de la facturación, donde la cuota cobrada es igual a la sumatoria de todos los cargos.

(8) OLA GARCÍA, José Luis. Tarifa eléctrica y facturación en Guatemala. p. 3.

6. MARCO ADMINISTRATIVO

La administración de un proyecto consiste en: la planeación, organización, dirección y control de los recursos para lograr un objetivo, ocurre cuando se da énfasis y atención especial para conducir actividades con el propósito de lograr un conjunto de metas.

Esta actividad se lleva a cabo por un grupo de administradores para llevar a cabo proyectos particulares, tomando en cuenta los recursos existentes, tales como: tiempo, materiales, capital, recursos humanos y tecnología. La administración ayuda a realizar acciones concretas para obtener el máximo beneficio, aprovechando sus recursos mediante su utilización eficiente.

Para estos efectos, en el reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, define al titular ó propietario del proyecto como: “Son las municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación, las empresas mixtas, las personas individuales o jurídicas, a las que se le ha calificado y autorizado por el Ministerio un proyecto energético que utiliza recursos renovables...”

A continuación se analizan algunos de estos entes para la administración del proyecto de energía eólica y solar, de una forma breve.

6.1. Municipalidad

Una municipalidad es la institución que se encarga de la administración local en un pueblo, ciudad, comuna o distrito. Encabezada por un alcalde o presidente municipal y un concejo, elegidos por votación popular. Su presupuesto proviene por lo general de fondos nacionales, servicios municipales, donaciones, etc. Lo anterior establecido en el “Código municipal” emitido por el Congreso de la República de Guatemala según decreto número 12-2002.

Para el caso específico de la aldea San Luis, San José Pinula, por lo establecido en el reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, la municipalidad esta facultada para llevar a cabo un proyecto de electrificación con energías renovables. Lo que tendría que analizar la municipalidad es si cuenta con los fondos suficientes, dentro de su presupuesto para poder sustentar el proyecto; sin embargo, buscar financiamiento o donación con otras entidades nacionales o internacionales, se considera que es la forma por la cual el proyecto podría ser viable.

Por parte de la municipalidad de San José Pinula, con referencia en su página Web, dentro de su misión esta: “Nos comprometemos a desarrollar una buena información de proyectos y propuestas, para lograr el desarrollo integral de nuestros conciudadanos...” y dentro de su visión: “...nuestras actividades están encaminadas a concientizar a la población... generando propuestas y proyectos de solución utilizando las tecnologías de la información y comunicación...”, comprometiéndose con ello al desarrollo del municipio.

6.2. Empresa privada

Una empresa es la unidad económico-social, con fines de lucro, en la que el capital, el trabajo y la dirección se coordinan para realizar una producción socialmente útil. El código de comercio de Guatemala, decreto número 2-70 del Congreso de la República de Guatemala, define a una empresa mercantil como “El conjunto de trabajo, de elementos materiales y de valores incorpóreos coordinados, para ofrecer al público, con propósito de lucro y de manera sistemática, bienes o servicios”.

Las empresas cuentan con una clasificación según a la actividad a la que se dediquen. Una empresa de tipo industrial extractiva, es la que se dedica a la explotación de recursos naturales, ya sea renovable o no renovable. Dentro de otra clasificación están las empresas de servicio, que brindan algún tipo de servicio a la comunidad contenido dentro de ellos los servicios públicos como la energía eléctrica.

El MEM, a través del a Dirección General de Energía, promueve el desarrollo de proyectos de energía renovable; además, existen entidades nacionales y extranjeras promotoras y financieras para el desarrollo de este tipo de proyectos, contando con un listado de por lo menos 20 de estas entidades, al cual se puede tener acceso en cualquier momento. Pudiéndose contactar a una de estas entidades promotoras para proponerle un proyecto de electrificación con energías renovables.

6.3. Análisis de costos

El presente inciso no pretende realizar un análisis financiero, únicamente hacer mención de los costos que se deben de tomar en cuenta para llevar a cabo el proyecto. Primero se analiza el costo de la energía eólica y al final el costo de la energía fotovoltaica.

El costo de la energía eólica, por kWh, producida se deduce de un cálculo bastante complejo. Para su evaluación se debe de considerar diversos factores, entre los cuales destacan: a) la inversión inicial, donde el costo del aerogenerador representa aproximadamente del 60% a 70% de la inversión total, b) debe de considerarse la vida útil de la instalación, aproximadamente 20 años, y la amortización de este costo, c) los costos financieros para el proyectista y d) los costos de operación y mantenimiento que pueden variar entre el 1% al 3% de la inversión.

El siguiente análisis de costos esta basado en, información obtenida de la empresa Wind Power de Dinamarca, que toma en cuenta para su evaluación los siguientes costos:

- Costos de instalación de aerogeneradores: los costos de instalación incluyen: las cimentaciones, normalmente hechas de hormigón armado, la construcción de carreteras para trasportar el equipo necesario, centro de transformación, conexión telefónica para el control remoto y líneas de transmisión, representando aproximadamente el 30% de la inversión total.

- Costos de operación y mantenimiento: los costos de mantenimiento son muy bajos cuando las turbinas son nuevas, pero aumentan conforme la turbina va envejeciendo. Para los aerogeneradores de tecnología reciente los rangos estimados son del 1.5% al 2% al año de la inversión inicial de la turbina, algunos prefieren utilizar en sus cálculos una cantidad fija por kWh producido que por lo general es de 0.01 US\$/kWh.

Dentro de los costos de operación y mantenimiento, se prevé que los gastos de personal y de consumibles sigan un incremento anual del 2%. Los repuestos se consideran que seguirán una tendencia de disminución de un 3% anual, tomando en cuenta que cada vez serán aplicadas mejores técnicas de mantenimiento predictivo y que la instalación estará completamente automatizada.

- Costo del terreno: la energía eólica utiliza poco recurso de terreno, los aerogeneradores y las carreteras de acceso ocupan menos del 1% del área de un parque eólico típico. El 99% del terreno restante puede ser utilizado para agricultura y ganadería. Los aerogeneradores suelen espaciarse entre 3 y 9 diámetros de rotor para no interferir demasiado entre ellos, de 5 a 7 diámetros de rotor es la separación que más se utiliza.

El alquiler del terreno sobre el que esté asentada la planta eólica normalmente toma como referencia la tarifa eléctrica, es decir, los ingresos del parque eólico, como instalación productora de energía eléctrica y su variación se hacen en función de esta tarifa, pagando un porcentaje por el uso del terreno al dueño según sea el contrato establecido.

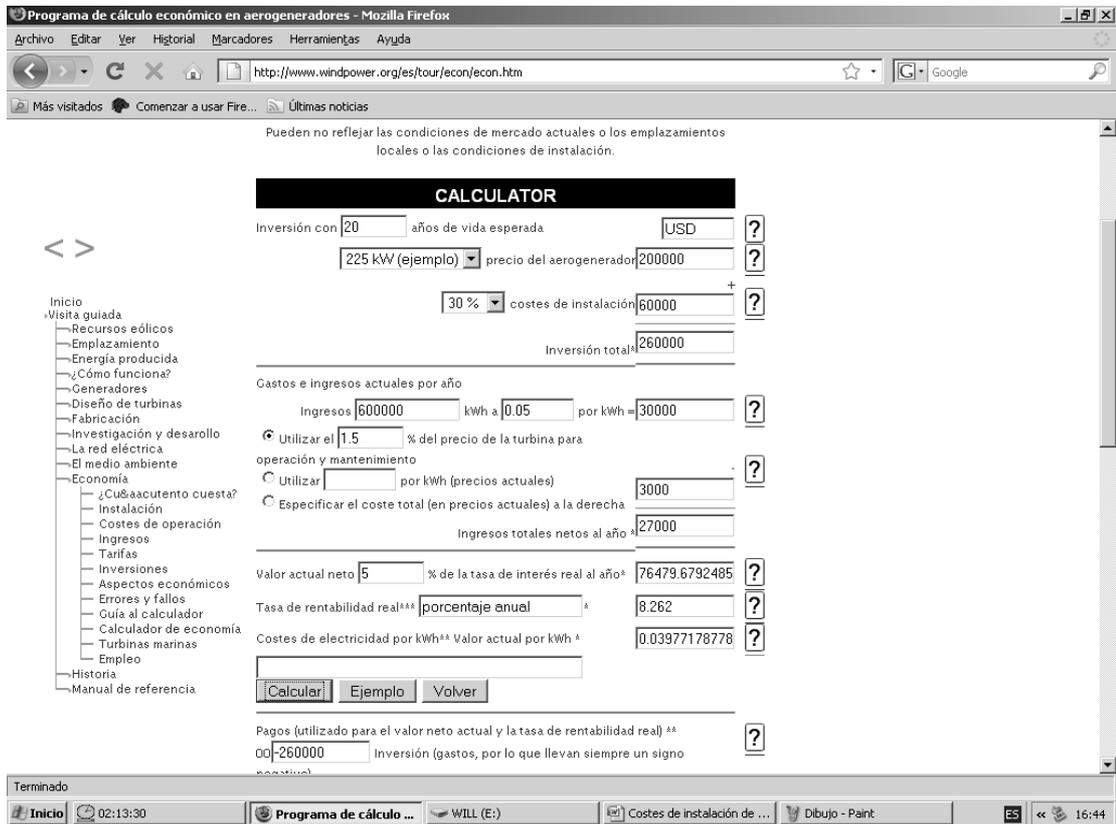
- Costos de electricidad por kWh: un método considera que los costos se calculan encontrando la suma de la inversión total y el valor actualizado de operación y mantenimiento todos los años. Después se divide el resultado por la suma del valor actualizado de la futura producción de electricidad, se divide cada producción anual de electricidad por $(1+i)^n$ a la n-ésima potencia, donde n es el número del período, si se ha especificado unos ingresos por ventas de electricidad se restan de las cantidades no nulas, especificada en la lista de pagos de cada período.

Otro método, de mucha utilidad, es el programa de cálculo económico en aerogeneradores que ofrece Wind Power, en su sitio Web, donde los precios y costos sólo constituyen un ejemplo, puede no reflejar las condiciones de mercado actuales, emplazamientos o condiciones de instalación.

Las variaciones en el cálculo para costo del kWh, pueden ser por: la potencia de parque, inversión inicial, producción anual, vida útil, recursos propios, recursos ajenos, tasa de inflación, amortización de algún préstamo, gastos de explotación sobre inversión total, incremento anual de los gastos de explotación, etc.

A continuación se presentan dos ejemplos con datos obtenidos por medio del programa de cálculo económico para aerogeneradores, el cual ya considera los costos expuestos anteriormente y se puede tener acceso a el en: <http://www.windpower.org/es/tour/econ/econ.htm>, teniendo la apariencia que muestra la siguiente figura:

Figura 9. Programa de cálculo económico en aerogeneradores



Fuente: www.windpower.org/

a) De este programa se extraen los siguientes datos, presentados en dólares de los Estados Unidos:

- Inversión con
 - 20 años de vida esperada
 - 225 kW, precio del aerogenerador: 200,000
 - 30% de costos de instalación: 60,000
 - Inversión total 260,000

- Gastos e ingresos actuales por año
 - Ingresos: 600000 kWh a 0.05 por kWh = 30,000
 - Utilizar el: 1.5% del precio de la turbina para O&M = 3,000
 - Ingresos totales netos al año: 27,000

Valor actual neto: 5% de la tasa de interés real al año = 76479.6792

Tasa de rentabilidad real: porcentaje anual = 8.262

Costos de electricidad por kWh:	0.0397
---------------------------------	--------

b) Un segundo ejemplo serían los siguientes datos, presentados en dólares americanos:

- Inversión con
 - 20 años de vida esperada
 - 600 kW, precio del aerogenerador: 460,000
 - 30% de costos de instalación: 135,000
 - Inversión total 585,000

- Gastos e ingresos actuales por año
 - Ingresos: 1500000 kWh a 0.05 por kWh = 75,000
 - Utilizar el: 1.5% del precio de la turbina para O&M = 6,750
 - Ingresos totales netos al año 68,250

Valor actual neto: 5% de la tasa de interés real al año = 265545.8558

Tasa de rentabilidad real: porcentaje anual = 9.901

Costos de electricidad por kWh	0.03579
--------------------------------	---------

De lo antes expuesto se puede observar que entre mayor es la capacidad del aerogenerador, mayor es la inversión, mayor es el ingreso anual y menor es el precio del kWh eólico.

Como otra referencia está un estudio de la Universidad de Puerto Rico, que expone: “para un inversionista privado en Puerto Rico, la venta de energía producida por medio de una finca de molinos de viento podría ser a \$0.0837 o a \$0.0792 si recibe incentivos. La Autoridad de Energía Eléctrica -AEE-, podría vender a \$0.0673 o a \$0.0648 con incentivos. Si se emiten bonos, la cifra podría bajar a \$0.0554 o hasta un mínimo de \$0.0549 con incentivos”

El costo del kWh eólico no se puede promediar, no tiene el mismo precio en Dinamarca, Puerto Rico, o aquí en Guatemala, por lo cual los precios de la electricidad dependen de factores específicos de cada País y exclusivamente de las características propias del emplazamiento, otra consideración es que el precio de la energía eólica en comparación con otras energías convencionales no es la más favorable.

- Costo de un sistema fotovoltaico: el siguiente análisis es con referencia a la empresa “SOLARco, Energía Limpia”. Según esta empresa un sistema fotovoltaico requiere un fuerte desembolso de capital inicial, pero los gastos de gestión y mantenimiento son muy reducidos. El costo de inversión inicial puede variar entre 70% - 75% del costo del sistema, el costo de mantenimiento varia en 3% - 5%, los costos de reemplazo representan del 20% - 27% de los costos totales del sistema a lo largo de toda su vida útil.

El análisis de los aspectos económicos relativos al sistema es muy complejo, cada aplicación de esta tecnología tiene que ser evaluada en su específico contexto, de acuerdo a las condiciones del emplazamiento, teniendo en cuenta: la energía eléctrica producida, el tiempo de vida del proyecto; el cual se calcula alrededor de 25 años, los incentivos disponibles, entre otros.

En algunos casos la inversión inicial se amortiza rápidamente, ya que el costo de conexión a la red eléctrica sería superior al costo de la instalación fotovoltaica, pero en la mayoría de los casos el sistema fotovoltaico tiene un costo por kW instalado mucho mayor que el costo del kW de un sistema de gran escala de la red nacional.

Lo que puede hacer compensar la instalación fotovoltaica son los incentivos públicos en las zonas urbanas ó en los casos de instalaciones aisladas del sistema eléctrico, el costo unitario del sistema fotovoltaico se hace conveniente al evitar el costo de una línea de alta tensión o el traslado de combustible.

En Guatemala la energía eólica y solar para fines de comercialización de energía eléctrica es una energía nueva, por lo cual hasta el momento no se tiene ninguna referencia en cuando al posible precio de venta del kWh proveniente de este tipo de energías. Una referencia para el precio del kWh fotovoltaico es la figura presentada a continuación, donde aparecen estimaciones económicas de un proyecto solar fotovoltaico:

Figura 10. **Estimaciones económicas proyecto solar fotovoltaico, Centro de producción San Antonio, Costa Rica**

Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiemb
Amortización mensual US\$	109.39	109.39	109.39	109.39	109.39	109.39
Costo mensual Operación \$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Costo mensual Mantenim \$	24.41	0.00	12.29	0.00	0.00	0.00
Costos totales	133.8	109.39	121.68	109.39	109.39	109.39
Ingresos \ venta energía \$	15.10	17.49	15.29	16.88	16.27	16.00
Ahorro \ combustible \$	32.54	37.68	32.94	36.37	35.04	33.60
Ingresos \ emisiones CO2 \$	2.08	2.41	2.11	2.33	2.24	2.15
Ingresos totales	49.52	57,58	50.34	55.58	53.55	51.75
Energía producida kWh	186.02	215.39	188.32	207.93	200.35	192.07
Costo unitario US\$/kWh	0.72	0.51	0.65	0.53	0.55	0.57
Costos + ingresos US\$/kWh	0.45	0.24	0.38	0.26	0.28	0.30

Fuente: Conejo Badilla, José Antonio. Proyecto solar fotovoltaico conectado a la red. p. 10.

De la figura se observa el desglose de costos, entre otros: amortización mensual, O&M, ingresos, costo unitario del kWh que esta entre los valores de US\$0.51 a US\$0.72, mientras que el precio promedio del kWh producida por medios tradicionales es más económico, independientemente del país en que se produzca.

6.3.1. Retorno de la inversión

El período de retorno de la inversión depende de la elección del sistema, el recurso eólico y solar en el sitio, como se utiliza el sistema de energía, entre otros. No se presenta un análisis financiero del retorno de la inversión, por la consideración de que se espera que el municipio gestione todo lo relacionado a los recursos financieros necesarios, para hacer viable la adquisición de la maquinaria, terreno y mobiliario necesario. El presente trabajo está enfocado específicamente en la disponibilidad de los recursos naturales.

Entre los métodos utilizados para esta evaluación están: el período de recuperación de la inversión -PRI-, es un método que a corto plazo tiene favoritismo a la hora de evaluar proyectos de inversión. Por su facilidad de cálculo y aplicación, es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como el riesgo relativo, pues permite anticipar eventos en corto plazo.

Es un indicador financiero que al igual que el valor presente neto y la tasa interna de retorno, permite optimizar el proceso de toma de decisiones. Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo requerido para que los flujos de efectivo neto de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

Otro método es el período de recuperación del capital -Payback-, utilizado cuando se requiere que la inversión se recupere en un tiempo determinado. Se obtiene contando el número de períodos que toma igualar los flujos de carga acumulados con la inversión inicial.

Si Payback es menor que el máximo período definido por la empresa, entonces se acepta el proyecto. Tiene la ventaja de ser un método simple, y tener una consideración básica de riesgo: a menor Payback, menor riesgo.

La Agencia Valenciana de Energía -AVEN-, para el cálculo de período de retorno de la inversión, en un proyecto de energía renovable basado en energía eólica o mixta con energía fotovoltaica, utiliza la siguiente relación:

Ecuación 15

$$T = \frac{I}{E - M}$$

Donde:

T = Tiempo de recuperación de la inversión en años

I = Inversión total del proyecto (no incluye estudios de viabilidad, trabajos de investigación y desarrollo).

E = Valor económico de la energía, sustituida o ahorrada.

M = Costos anuales de mantenimiento sin contar los costos financieros y amortización.

La elección del método de evaluación es a discreción, según el criterio de la administración del proyecto.

6.4. Programa de operación y mantenimiento

6.4.1. Operación

La operación de los aerogeneradores se hace desde centros de control por medio de contratistas o la parte interesada puede supervisar las tareas y adquirir la experiencia para operar por sí misma.

Los aerogeneradores se conectan automáticamente cuando hay viento y se desconectan cuando no hay, o cuando hay demasiado que sobrepasa la velocidad de trabajo del mismo.

La operación contiene una atención y supervisión continua de las máquinas, verificando su funcionamiento en tiempo real, visualizando y resolviendo los problemas que se puedan producir, por medio de aviso de alarmas. Los aerogeneradores trabajan con un sistema de control el cual realiza el trabajo de forma automática, los datos se presentan a los operadores de modo que puedan actuar directamente sobre las máquinas si es necesario.

La operación se realiza básicamente a través del equipo de control, tanto en información de funcionamiento y toma de datos, como en la operación de reset de alarmas. Se proporciona el acceso de datos en tiempo real en los parques o remotamente, facilitando el análisis histórico de las principales variables de control.

Para el caso de paneles fotovoltaicos, la energía producida, en los paneles, en corriente continua, es almacenada en acumuladores o baterías, la electricidad pasa a través de un regulador el cual desconecta por sobrecarga cuando la batería esta cargada a su máxima capacidad o desconecta la carga conectada cuando la descarga de la batería llega a niveles que le puedan causar daños permanentes, para distribuir la energía eléctrica se conecta a un inversor; el cual transforma la corriente directa de 12 V en corriente alterna a 120/240 V y 60 Hertz.

En caso que el sistema sea para conectarlo al SNI, la instalación de paneles fotovoltaicos se conecta directamente a la red eléctrica por medio de un inversor, de esta manera la energía eléctrica que se produce es entregada en forma instantánea, eliminando el uso de baterías y del regulador, el equipo inversor tiene un algoritmo para su funcionamiento que entre otras funciones le permite sincronizarse y desconectarse automáticamente, además tiene integrado un sistema de protección que lo desconecta ante la presencia de cualquier falla.

Este proceso se inicia cuando la incidencia de la irradiación solar es suficiente para generar energía eléctrica siendo automático, únicamente se debe realizar la instalación en la orientación adecuada. En el centro de producción se dispone de equipos de cómputo y tecnología de comunicación para la recolección y almacenamiento de datos asociados a la operación de las plantas solares, lo que permite procesar la información técnica, histórica y de producción de energía en tiempo real a disposición de un operador que verifique únicamente que los datos obtenidos se mantengan en un rango aceptable.

6.4.2. Mantenimiento

Los modernos aerogeneradores están diseñados para trabajar un tiempo de vida de 20 años con alrededor de 120,000 horas de operación, durante los dos primeros años, las máquinas están en garantía, normalmente el fabricante sigue realizando el mantenimiento durante los siguientes tres años pero la cuota de mantenimiento aumenta; después de los cinco años de la puesta en funcionamiento del equipo, el fabricante no se compromete a fijar un precio por mantenimiento.

Las labores de mantenimiento de aerogeneradores están basadas en el seguimiento periódico del funcionamiento de los mismos para la detección y pronta solución de fallos que provocan sus paradas.

Los módulos fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, es un sistema estático carente de partes móviles, con el circuito interior de las células y soldaduras de conexión aisladas del ambiente exterior por capas de material protector, obteniendo mínimos gastos en mantenimiento.

6.4.2.1. Tipos de mantenimiento

6.4.2.1.1. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento consiste en la resolución de forma inmediata, de averías o actuaciones no programadas y cambios de componentes pequeños, el control que se tiene sobre las máquinas permite conocer posibles incidentes en tiempo real. Para disminuir el impacto de este tipo de averías de debe de disponer de un equipo con los suministros necesarios, ya sea en los propios parques o en bodegas del fabricante.

El personal de mantenimiento debe ser formado y capacitado previamente, el cual proporcionará el apoyo técnico necesario trasladándose a la ubicación de los aerogeneradores cuando sea necesario. Entre el mantenimiento correctivo de considerada magnitud, se encuentra: el cambio de rotor, cambio de generador, cambio de multiplicadora, etc.

Para el equipo fotovoltaico el mantenimiento correctivo puede ser por averías entre las cuales están: rotura del vidrio de los módulos, penetración de agua en el interior del módulo y consiguiente oxidación del circuito interior de las células y soldaduras de conexión, fallos en las conexiones y entrada de agua en la caja de bornes, ensuciamientos o sombras parciales.

6.4.2.1.2. Mantenimiento preventivo

Se entiende por mantenimiento preventivo a todas aquellas actuaciones de mantenimiento programadas en el manual de mantenimiento del aerogenerador y módulos fotovoltaicos, con operaciones e inspecciones periódicas, que se hacen necesarias para garantizar la operación y funcionamiento de la máquina durante su tiempo de vida útil.

Con una periodicidad establecida se programan las inspecciones o sustituciones preventivas de componentes, concentrando estas actuaciones en los períodos de menor incidencia sobre la producción. Dentro de estas actividades para aerogeneradores se pueden mencionar: reapriete y comprobación de pernos, engrases, revisión detallada del aerogenerador, medición de la potencia del generador cada año, cambio de aceite de la multiplicadora, cambio de aceite del grupo hidráulico, etc.

Para los módulos fotovoltaicos, entre otros: limpieza periódica con un paño mojado a la superficie anterior de los módulos, esta limpieza sirve para devolver la transparencia original al cristal, el regulador de carga no requiere mantenimiento alguno, si la batería es de Plomo-ácido no sellada debe controlarse el nivel del líquido, limpieza de los contactos entre los bornes y terminales de cables de conexión, revisión de los cables de conexión entre el módulo fotovoltaico, la batería y el regulador.

6.4.2.1.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en determinar en todo instante la condición técnica, mecánica y eléctrica del equipo mientras se encuentre en pleno funcionamiento, para lo cual se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes.

Tiene como fin disminuir las paradas por mantenimiento preventivo y minimizar así los costos de mantenimiento. La técnica está basada en que las partes de la máquina darán un aviso por medio de sensores antes de que fallen, su uso para determinar el estado del equipo instalado dará como resultado un mantenimiento mucho más eficiente comparado con los otros tipos de mantenimientos ya descritos.

Para los aerogeneradores estas técnicas consisten en: análisis de aceites, medidas de vibraciones, termografías, entre otros.

Para los módulos fotovoltaicos la técnica es similar, basándose en que los parámetros de los módulos están siendo medidos y darán un aviso por medio de sensores antes de que estos fallen, cuya aplicación para determinar su estado es óptima recordando que este sistema no requiere un mantenimiento tan dedicado como los aerogeneradores.

6.4.2.2. Programa de mantenimiento

Aunque el mantenimiento regularmente lo proporciona el fabricante ó se subcontrata a empresas dedicadas exclusivamente al mantenimiento, a continuación se establecen algunos parámetros para la creación de un programa de mantenimiento.

Para elaborar un programa de mantenimiento hay que tomar en cuenta ciertos aspectos, por ejemplo: quien conoce mejor el equipo instalado es el fabricante; por lo que es aconsejable leer el manual de uso, optimizar y establecer un manual para los operadores, iniciar un historial de averías e incidencias, establecer una lista de puntos de comprobación en los niveles de lubricantes, voltajes, etc.

Crear un listado de accesorios, repuestos, cambios para el equipo, contando con un almacenaje de los mismos para un plazo temporal, considerando el tiempo en que el fabricante se tarda en abastecer los pedidos, agrupar en el programa las distintas actividades de mantenimiento que requieran la parada del equipo.

Cuando se pone en práctica una política de mantenimiento, el plan de trabajo debe ser conocido por todos y debe ser aprobado por las autoridades correspondientes, este plan debe permitir desarrollar paso a paso las actividades programadas en forma metódica y sistemática, en un lugar, fecha y hora conocidos por los involucrados.

6.4.2.2.1. Plan de trabajo

Un plan de trabajo es un instrumento de planificación, que es un proceso que por su carácter dinámico se adecúa a un contexto social, espacial y temporal. El plan de trabajo ordena y sistematiza información de modo que pueda tener una visión clara del trabajo a realizar.

Un plan de trabajo se hace para uso práctico, ordenando lógica y secuencialmente la fase de ejecución, permitiendo realizar su seguimiento y ayuda a la reprogramación; facilita, además, el proceso de evaluación.

Deberá estar identificado con el nombre de la institución, representante, período de ejecución, la cobertura que garantiza, estableciendo los recursos con que cuenta, como lo son: humanos, infraestructura, materiales, etc., y estableciendo un presupuesto financiero.

Los componentes que debe de contener el plan de trabajo son: objetivos, metas, actividades, responsables, cronograma y recursos. Ordenándose en un cuadro, un archivo del Excel o programa que se tenga disponible.

Con fines de ejemplificar como se debe de realizar un plan de trabajo, se presenta el siguiente cuadro, de una forma resumida:

Tabla V. **Plan de trabajo**

OBJETIVO	META	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	CRONOGRAMA
Expresa los logros deseados.	Es la cuantificación del objetivo propuesto.	Acciones programadas para llevarse a cabo.	Persona o personas que ejecutan la actividad.	Permite ponerle tiempo de ejecución a cada actividad
EÓLICA				
Organizar el mantenimiento del aerogenerador.	Funcionamiento óptimo del parque eólico.	<ul style="list-style-type: none"> •Preparación del material. •Actividad de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> •Equipo de logística. •Equipo de mantenimiento. 	Se presenta en la tabla VI
SOLAR				
Organizar el mantenimiento de los módulos fotovoltaicos.	Funcionamiento óptimo y adecuado de los módulos.	<ul style="list-style-type: none"> •Preparación del material. •Actividad de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> •Equipo de logística. •Equipo de mantenimiento. 	Se presenta en la tabla VII

Fuente: Zuloaga, Elsa. Instrumentos de Planificación, PAED/DESCO.

Tabla VI. Cronograma del plan de trabajo para aerogeneradores

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ANUAL AEROGENERADOR No. ____ UBICADO EN SAN JOSÉ PINULA											AÑO:	
Zona o equipo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agt	sep	oct	nov	dic
Tornillería												
Estado del cableado												
Inspección de las hélices												
Sistema de frenado automático												
Rodamientos												
Amortiguador												
Engrase de ejes, rodamientos												
Multiplicador												
Generador												
Trasformador												
Vibraciones												
Sistemas hidráulicos												
Sistema de Control												
Sistema eléctrico												
Obra civil												

Observaciones: _____

 Nombre y Firma del Responsable: _____

Fuente: programa de mantenimiento mensual.

Tabla VII. **Cronograma del plan de trabajo para módulos fotovoltaicos**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ANUAL CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA EN SAN JOSE PINULA											AÑO:	
Zona o equipo	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agt	sep	oct	nov	dic
Limpieza de módulos												
Inspección visual de módulos												
Estado de cristal posterior												
Estado de las conexiones												
Estado del cableado												
Características del sistema												
Efecto de sombra												
Líquido de la batería												
Obra civil												

Observaciones: _____ _____ Nombre y Firma del Responsable: _____
--

Fuente: programa de mantenimiento mensual.

6.4.2.2.2. **Equipo de trabajo**

El equipo de trabajo es el grupo de personas que se organizan para llevar a cabo las tareas correspondientes al mantenimiento, que están relacionadas entre si interactuando para alcanzar los objetivos que se han propuesto.

Se necesita de por lo menos un Ingeniero supervisor de mantenimiento, encargado de bodega, técnicos especializados en la materia y cualquier otro tipo de personal que por las condiciones propias de cada lugar tengan que intervenir para la actividad de mantenimiento.

El intervalo de tiempo en el que se programa el tipo de mantenimiento respectivo dependerá de la programación sugerida variando según sea la reparación o supervisión que haya que hacer, realizando los trabajos correspondientes en intervalos de la menor producción de energía eléctrica.

Establecer el intervalo inicial al momento de empezar a llevar el historial de reparaciones, mantenimientos y otros problemas a solucionar. Por ejemplo, no se usa el mismo intervalo de tiempo para la revisión del cableado que se sugiere cada 6 meses, que para la revisión de todos los parámetros correspondientes al generador que se sugiere verificar su potencia de salida en kW cada 12 meses ó el líquido de las baterías cada 12 meses.

Las herramientas y equipo a utilizar dependerán de la empresa que realice los trabajos de mantenimientos, y de los trabajos a realizar pues no requiere lo mismo revisar el sistema de frenado automático, cambiar un rotor o cambiar el cristal de un módulo.

También influye el medio de transporte que se utilice ya que en otros países utilizan helicóptero para poder acceder a las instalaciones del aerogenerador y así poder llevar el equipo necesario. Las herramientas a utilizar se pueden clasificar en: herramientas de diagnóstico, herramientas de instrumentación y herramientas especiales.

Los materiales a utilizar dependerán del tipo de mantenimiento a realizar, clasificados en: repuestos a tener a disposición inmediata, repuestos que debe tener el fabricante a disposición del cliente, repuestos depositados en almacenes centrales o locales, entre otros.

De realizarse una buena planificación y programación de mantenimiento, para administrar todos los recursos a utilizar, dependerá el éxito del mismo tomando en cuenta que únicamente es una base a seguir y que para cada caso en particular se deberá evaluar una posible reprogramación.

CONCLUSIONES

1. El potencial eólico puede ser aprovechado por medio de aerogeneradores de 850 kW, que a una velocidad de 7 m/s proporciona una potencia aproximada de 242 kW. Trabajando como mínimo 6 horas al día se obtiene una energía de 1452 kWh/d, con 3 de estas unidades se tendrían disponibles 4356 kWh/d, correspondientes al 78% de la energía requerida del estudio presentado.
2. Aunque existe el potencial eólico en San José Pinula, para la implementación de un sistema aislado de generación de energía eléctrica a base de fuentes de energía renovable, se tendría que competir con el mercado actual, ofreciendo tarifas más favorables.
3. No es viable utilizar energía hidráulica para la producción de energía eléctrica en San José Pinula, pues el caudal disponible no posee suficiente capacidad para su explotación energética, únicamente puede calificarse como caudal ecológico.
4. No es viable implementar energía Biomásica para servir de complemento a la energía eólica, ya que para su implementación se utilizaría más biomasa que la que produce el ecosistema de San José Pinula.

5. La energía solar puede ser aprovechada con la instalación de un parque fotovoltaico de 1540 paneles, de 230 W c/u, para una producción total de 1594 kWh/d, que representa el 28% de la energía requerida del estudio presentado, con lo cual se cubre la demanda total del proyecto.

6. El cuadro muestra una comparación de las dos fuentes energéticas elegidas para el desarrollo de este trabajo, donde en porcentaje se estiman costos de acuerdo a la inversión total.

CONCEPTO	EÓLICA	SOLAR
Costo del equipo	(60-70)%	(70-75)%
Costo O&M	(1-3)%	(3-5)%
Costo instalación / reemplazo	30%	(20-27)%
Vida útil	20 años	25 años
Amortización del costo	4 a 10 años	7 a 12 años

RECOMENDACIONES

1. Buscar financiamiento por medio de donaciones de empresas extranjeras interesadas en el fomento y desarrollo de proyectos de electrificación a base de energías renovables, para que el precio de venta del kWh pueda competir con el precio del mercado actual.
2. Aumentar la altura de medición e instalación de los aerogeneradores, para llegar a duplicar la velocidad de trabajo y obtener un mejor potencial para la generación de energía eléctrica en San José Pinula.
3. Permanecer conectado al sistema nacional interconectado, ya que en las horas de viento escaso ó baja irradiación solar, cuando no se produzca energía suficiente, es la red la que proporciona la energía necesaria. Si se llegará a producir más energía eléctrica de la que se consume, el exceso se puede transferir a la red.
4. Establecer un sistema administrativo y de mantenimiento para los aerogeneradores, módulos fotovoltaicos y de las instalaciones en general, para evitar cortes prolongados en el suministro de energía eléctrica y con ello obtener una aceptable calidad de la energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Administración funcional de la Dirección General de Energía. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía, 16 p.
2. AUBREY, Crispin; et al. Barrera, Osvaldo (trad.). Perspectivas globales de la energía eólica [en línea]. Bélgica: Global Wind Energy Council, 2006. 60 p. Disponible en Web: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Greenpeace2006Eolica.pdf>.
3. Boletín electrónico, Área electrificación rural. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía, 3 p.
4. Boletín electrónico, Servicio de operación y mantenimiento [en línea]. Ecotécnia, 2 p. Disponible en Web: <http://www.construnario.com/ebooks/9482/operaci%C3%B3n%20y%20mantenimiento/normas%20y%20reglas/files/normas%20y%20reglas.pdf>.
5. Boletín electrónico, Tarifa eléctrica y facturación en Guatemala. Ola García, José Luis. No. 10. Guatemala: Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, 12 p.
6. BORNAY, Juan; BORNAY, David. Manual de instrucciones y mantenimiento [en línea]. Inclín 600. España: JBornay, 2002. 18 p. Disponible en Web: http://www.sasenergia.pt/produtos/bornay600_manual.pdf.

7. CARLESS, Jennifer. *Energía renovable: guía de alternativas ecológicas*. México: Edamex, 1995. 245 p. ISBN: 968-409-818-9.
8. CATALDO, J.; NUNES V. Metodología de evaluación del potencial eólico para la instalación de aerogeneradores en plantas industriales y análisis de la sensibilidad de la factibilidad [en línea]. Uruguay: Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 8 p. Disponible en Web: <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2006/CN06a/CN06a.pdf>.
9. CONEJO BADILLA, José Antonio. Proyecto solar fotovoltaico conectado a la red [en línea]. Costa Rica: Instituto Costarricense de Electricidad, 2005. 14 p. Disponible en Web: http://www.docrenewableenergy.info/es_f-28~n-energias+renovabl+solar+fotovoltaica~.
10. DEL ÁGUILA GIRÓN, Mirna Judith. "Una Aproximación al marco jurídico que incentive el desarrollo de proyectos de energía renovable". Trabajo de graduación de Lic. en Ciencias Jurídicas y Sociales. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 82 p.
11. ESPALLARDO, José Antonio. Energía fotovoltaica [en línea]. España: Cámara de Comercio de Zaragoza, 2008. 36 p. Disponible en Web: <http://www.camarazaragoza.com/medioambiente/docs/bibliocamara/documentobibliocamara274.pdf>.
12. Guatemala. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, del congreso de la República de Guatemala. Artículo 5. 10 de noviembre de 2003, No. 52-2003, 12 p.

13. Guatemala. Reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, del Ministerio de Energía y Minas. Capítulo I, Artículo 1. 22 de junio de 2005, No. 211-2005, 12 p.
14. Guatemala. Reglamento de la ley general de electricidad, del Ministerio de Energía y Minas. Título VI, Capítulo IV, Artículo 100, 21 de marzo de 1997, No. 256-97, Adición No. 68-2007 Artículo 1 y 3, 94 p.
15. Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables, instalaciones eólicas [en línea]. Canarias: Dirección General de Industria y Energía, 75 p. Disponible en Web: http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272735_GuiaEolica_GobCan.pdf.
16. La energía en Guatemala [en línea]. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 2007. 44 p. Disponible en Web: [http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/energia/documentos/pres/\(1\)%20GUATEMALA2020La20EnergC3ADa20en0Guatemala.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/areas/energia/documentos/pres/(1)%20GUATEMALA2020La20EnergC3ADa20en0Guatemala.pdf).
17. Manual de instalación, uso y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos Isofotón gama estándar [en línea]. 3ª edición. Isofotón, 2008. 13 p. Disponible en Web: <http://es.scribd.com/doc/56972789/Manual-Instalacion-Modulos-Fotovoltaicos-Esp>.
18. Memoria técnica, plan de energía 2004 programa energías renovables. Agencia Valenciana de la Energía, 2004. 7 p.

19. MORENO ROMERO, Felipe. La energía y su transformación a partir de la biomasa [en línea]. España: La Moraleja, 2002. 52 p. Disponible en Web: <http://www.esritoscientificos.es/trab1a20/biomasa.htm>.
20. MOSQUERA, Pepa. Energías renovables para todos. Eólica [en línea]. España: Haya comunicación, 20 p. Disponible en Web: http://www.solarisenergias.com/mainFrame/descargas/pdf/Energias_Renovables_Eolica.pdf.
21. OÑATE ARRESTI, Diego. Diseño de una instalación solar fotovoltaica [en línea]. 2006. 12 p. Disponible en Web: http://www.eficienciaysostenibilidad.es/pdf/art_fot_014.pdf.
22. ORTEGA RODRIGUEZ, Mario. *Energías renovables*. España: Thomson, 2001. 336 p. ISBN: 9788428325820.
23. ORTIZ FLORES, Ramiro. *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Colombia: McGraw-Hill, 2001. 357P. ISBN: 958410165X.
24. *Perfil ambiental de Guatemala, tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Asociación Instituto de Incidencia Ambiental, 2006. 252 p.
25. ROSA CONTRERAS, Antonio Mateo. Mantenimiento de parques eólicos [en línea]. Global Energy Services, 2006. 39 p. Disponible en Web: http://www.aeeolica.org/uploads/documents/pe06/PE06_6_2_Antonio_Mateo.pdf?phpMyAdmin=nkH26XnGN7Ws3Rn1f-QjR33eVc7.