



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO
ENERGÍA RENOVABLE EÓLICO Y SOLAR, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA
SAN CLEMENTE EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO**

Luis Oswaldo Ramírez Grajeda

Asesorado por el MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO
ENERGÍA RENOVABLE EÓLICO Y SOLAR, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA
SAN CLEMENTE EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS OSWALDO RAMÍREZ GRAJEDA

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDGAR LEONEL ORTÍZ CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE EÓLICO Y SOLAR, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA SAN CLEMENTE EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Posgrado, con fecha 16 de julio de 2013



Luis Ramírez Grajeda



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0020-2013

Guatemala, 18 de julio de 2013.

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


Estimado Director:

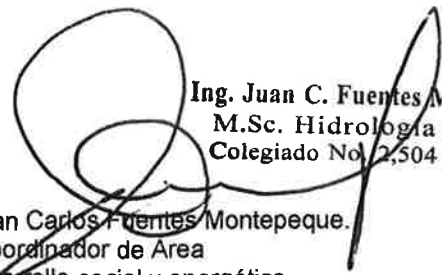
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Luis Oswaldo Ramírez Grajeda** con carné número **1993-12090**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.


Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"


MSc. Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo
Asesor (a)
Ingeniero Civil
Colegiado No. 3525


Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504
MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
Coordinador de Area
Desarrollo social y energético


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado

Cc: archivo/la

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



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado Titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE EÓLICO Y SOLAR PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA SAN CLEMENTE EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN EL PROGRESO**, presentado por el estudiante universitario LUIS OSWALDO RAMÍREZ GRAJEDA, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

YO Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, 18 de JULIO 2013.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 524 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE EÓLICO Y SOLAR, PARA LA POBLACIÓN DE LA ALDEA SAN CLEMENTE EN EL MUNICIPIO DE MORAZÁN, EL PROGRESO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Oswaldo Ramírez Grajeda**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 30 de julio de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su bendición y amor.
Mis padres	Luis Oswaldo Ramírez Dubon y María del Carmen Grajeda Alvarado, por su gran amor esfuerzo y apoyo incondicional que han dado a mi vida, el mejor tesoro con sus enseñanzas y ejemplo a lo largo de mi existencia.
Mis hermanos	Julio y Marycruz Ramírez Grajeda. por su amistad, apoyo y amor en todo momento.
Mi familia	Por su apoyo cariño y amistad.
Mis amigos	Por brindarme su amistad sincera, apoyo y compartir esas experiencias inolvidables en este viaje de la vida.
Mi asesor	Ing. Edgar Leonel Ortiz Castillo por su confianza y apoyo profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y su protección.
Mis padres	Luis Oswaldo Ramírez Dubon y María del Carmen Grajeda Alvarado, por su confianza, apoyo y fortaleza para seguir adelante en la búsqueda de nuevos logros y metas, basados sobre principios y valores morales.
Mis hermanos	Julio y Marycruz Ramírez Grajeda, por su ejemplo, apoyo e invaluable compañía.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme las herramientas y compartir los conocimientos que hoy forman parte de mi vida profesional y personal.
Facultad de Ingeniería	Por ser el inicio y centro de de mi formación profesional.
Mi amiga	María de los Ángeles Santizo Aguja, por su amistad incondicional y apoyo
Mis amigos	Agradezco su apoyo consejos y ayuda que me y amistad que me han brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
1. INTRODUCCIÓN	01
2. ANTECEDENTES	05
3. OBJETIVOS	09
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
6. ALCANCES	17
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	19
7.1. Generación en Guatemala.....	19
7.1.1. Sistema Nacional Interconectado (SNI)	19
7.1.2. Oferta y demanda de energía	20
7.1.3. Comercialización de energía eléctrica	21
7.1.4. Regulaciones de distribución y electrificación.....	22
7.1.5. Sistema de transporte y redes de distribución eléctrica	23

7.2.	Tipos de generación eléctrica con energías renovables		24
7.2.1.	Generación hidroeléctrica.....		24
7.2.2.	Generación biomásica.....		24
7.2.3.	Generación nuclear		25
7.2.4.	Generación geotérmica		25
7.2.5.	Generación híbrida		26
7.3.	Energía eólica.....		27
7.3.1.	Energía del viento		28
7.3.2.	Mecánica del viento.....		28
7.3.3.	Fuerza de Coriolis		32
7.3.4.	Vientos geostroficados		34
7.3.5.	Vientos locales		35
7.3.6.	Vientos de montaña		36
7.3.7.	Aspectos topográficos y rugosidad.....		36
7.3.8.	Equipo de medición.....		38
	7.3.8.1.	Anemómetros	39
7.3.9.	Componentes de un sistema de energía eólica		40
7.3.10.	Aerogeneradores.....		40
7.3.11.	Tipología de los aerogeneradores.....		41
	7.3.11.1.	Por la posición del aerogenerador.....	41
	7.3.11.2.	Eje horizontal.....	41
	7.3.11.3.	Por la posición del equipo respecto al viento.....	42
		7.3.11.3.1. A barlovento	42
		7.3.11.3.2. A sotavento	42
		7.3.11.3.3. Por número de palas (Aspas).....	43
7.4.	Energía solar.....		44
7.4.1.	Constante solar		45

7.4.2.	Energía solar fotovoltaica	45
7.4.3.	Celdas fotovoltaicas.....	46
7.4.4.	Celdas de lámina delgada	46
7.4.5.	Sistema fotovoltaico.....	47
7.4.6.	Aplicaciones rurales.....	47
7.4.7.	Radiación.....	48
7.4.8.	Efecto de la irradiancia e insolación	48
7.4.9.	Sistemas eólicos.....	49
7.4.10.	Sistemas fotovoltaicos	49
7.4.11.	Pequeños sistemas rurales.....	50
7.4.12.	Torres	50
7.4.13.	Banco de baterías.....	51
7.4.14.	Aspectos de instalación y mantenimiento	52
7.5.	Factores ambientales y económicos de la generación híbrida en el área rural.....	53
7.5.1.	Factores ambientales	53
7.5.1.1.	Repercusión en el uso de las tierras....	54
7.5.1.2.	Impacto visual.....	54
7.5.1.3.	Impacto en el medio ambiente.....	54
7.5.1.4.	Impacto al entorno social.....	55
7.5.2.	Factores económicos.....	55
7.5.2.1.	Análisis de costos	56
7.5.2.2.	Costos de capital	56
7.5.2.3.	Costos de instalación.....	57
7.5.2.4.	Costos de operación y mantenimiento.	58
7.5.3.	Criterios de valuación	58
8.	HIPÓTESIS	61

9.	CONTENIDO	63
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	69
11.	RESULTADOS ESPERADOS	81
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	83
13.	RECURSOS NECESARIOS	85
14.	BIBLIOGRAFÍA	87
15.	ANEXO	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Generación híbrida-demanda eléctrica local	77
2.	Grafica de potencia-costo.....	78

TABLAS

I.	Dirección de los vientos dominantes alrededor de la tierra	34
II.	Rugosidad del viento	38
III.	Velocidad del viento y radiación solar durante el día.....	73
IV.	Velocidad del vientos y radiación solar durante la noche	74
V.	Ubicación de sitios con potenciales eólicos y solares.....	75
VI.	Demanda de energía eléctrica comparada con la energia renovable generada	76
VII.	Potencia eléctrica generada comparada contra el costo kw/hora.....	77
VIII.	Resumen de datos para análisis de la TIR	80
IX.	Recursos económicos necesarios para la investigación	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
A	Amperios
ϕ	Ángulo de latitud
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
P	Densidad del aire
ΔP	Diferencia de presión entre dos puntos
CO₂	Dióxido de carbono
A_H	El área horizontal media de cada uno de los elementos
ΔE	Energía producida
Kw h/m²	Insolación
Watts/mt²	Irradiancia solar
Δm	Pérdida de masa en kg
S	Sección de cara al viento de los elementos de seguridad
GPS	Sistema de posición global (Global Position System)
T	Temperatura del aire en °F
Ω	Velocidad angular de la tierra
C	Velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s)
v	Velocidad del viento en metros/segundo
V	Voltaje
Vcd	Voltaje de corriente directa
W	Watts

GLOSARIO

Abastecimiento	Proveer de bastimentos, víveres u otras cosas necesarias.
Certificación	Documento en que se asegura la verdad de un hecho.
Control	Regulación, manual o automática, sobre un sistema.
Correlación	Correspondencia o relación recíproca entre dos o más cosas o series de cosas.
Costo	Cantidad que se da o se paga por algo.
Indicador	Elemento o dispositivo que muestra cierto cambio según el medio en el cual se encuentra.
Modelo	Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, como la evolución económica de un país, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.
Polietileno	Polímero preparado a partir de etileno. Se emplea en la fabricación de envases, tuberías, recubrimientos de cables, objetos moldeados, etc.

RESUMEN

La energía eléctrica en Guatemala está actualmente expandiendo su cobertura a todas las zonas del país; sin embargo, en el plan de electrificación nacional que impulsa el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y la Comisión Nacional de Energía (CNE) hay zonas que debido a su ubicación geográfica y densidad de población no han sido beneficiadas con este servicio ni lo serán de forma inmediata, ya que las redes de distribución principales están alejadas de estas poblaciones.

Los servicios de energía eléctrica disponibles en el área rural cuando existen son de mala calidad por ser finales de circuito o por estar muy alejados de las subestaciones eléctricas y no cuentan con la infraestructura eléctrica mínima para garantizar un servicio estable y constante.

Guatemala es un país rico en recursos naturales por su ubicación geográfica en la tierra y el clima es el mejor aliado para el aprovechamiento de los mismos. La energía renovable o energías limpias como actualmente son conocidas e impulsadas con el fin de minimizar el impacto en el calentamiento global se han ido desarrollando cada vez mas con éxito en país desarrollados como métodos alternativos de generación eléctrica.

Es en la aldea San Clemente del municipio de Morazán, departamento del El Progreso; que se decide realizar un análisis de la viabilidad de implementar un sistema de generación eléctrica híbrido eólico y solar aprovechando estos recursos naturales disponibles en la aldea que por su ubicación geográfica en las laderas de las montañas de las sierra de las minas son abundantes y

combinarlos en un sistema híbrido se garantiza la constancia de energía eléctrica de día y de noche.

A través de las posiciones geográficas seleccionadas se pretende determinar cuáles son los lugares con mayor potencial energético para generar electricidad suficiente y constante a través de instalaciones mecánicas, y eléctricas adecuadamente calculadas para su captación y aprovechamiento, tomando en cuenta todos los factores técnicos y económicos a través de la realización de una TIR.

Los resultados obtenidos pretenden ser una guía para otras comunidades rurales a nivel nacional de cómo y de qué manera se deben de implementar sistemas de energía eólico y fotovoltaicos, para tener acceso a energía eléctrica a través del aprovechamiento de los recursos renovables disponibles en cada región como lo son la radiación solar y la velocidad del viento.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza dentro de las líneas de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente de la Escuela de Posgrado, dentro de la rama de generación eléctrica basada en el aprovechamiento de los recursos naturales renovables específicamente en los recursos eólicos y solares de la aldea San Clemente del municipio de Morazán, del departamento de El Progreso. Estudios eólicos y solares se han realizado en Latinoamérica y Guatemala sobre cada tipo de energía renovable en forma separada e individual, como también en aplicaciones diferentes a la generación combinada o híbrida de las dos fuentes de energía usadas simultáneamente que están presentes en la aldea y que se desarrollara en esta investigación.

El objetivo del presente trabajo de investigación es realizar un análisis donde se pretende determinar cuál es el potencial de energía eólica y fotovoltaica disponible en la aldea San Clemente y como se puede aprovechar como energía eléctrica, para las viviendas y áreas de cultivo de sus habitantes a través de una selección de los puntos de ubicación más eficientes para la instalación de los sistemas híbridos de generación con mayor potencial eléctrico, como medio para aumentar el indicador que determina el tener acceso a la electricidad dentro del índice de desarrollo humano (IDH). Para escoger estos puntos se compararán los puntos que tengan mejor velocidad de viento en relación a la altura de captación y dirección así como el análisis de la radiación solar con el fin de desarrollar un mapa con los lugares con mayor potencial energético de generación renovable al menor costo.

Se estudiarán las ubicaciones seleccionadas con potencial de generación eólico y solar para considerar la factibilidad económica de la instalación de plantas de generación eléctrica de sistemas híbridos. Para determinar los resultados, se llevará a cabo una investigación descriptiva que iniciará con una investigación preliminar que se realizará en campo, con visitas técnicas y la evaluación de la geografía comparándolo con el recurso eólico y solar de cada sitio para su aprovechamiento energético. También se realizara un cálculo de carga eléctrica necesaria por vivienda de acuerdo a sus necesidades básicas de alimentación y recursos que se necesitaran para la instalación de equipos de generación.

A través de una investigación teórica preliminar donde se dará una explicación científica a los fenómenos físicos que dan una base y soporte para la comprensión y aplicación de la presente investigación donde se abarcaran los temas de manera teórica y sus fundamentos conceptuales. Se abarcarán los temas desde la generación eléctrica en Guatemala como las redes de distribución y el sistema nacional interconectado y de qué manera está estructurada las redes de distribución explicando la comercialización y regulación de la energía eléctrica en el país. Los tipos de generación renovable empleadas actualmente y especialmente desarrollando los temas de forma completa de energía eólica y solar y sus aplicaciones.

Se analizaran en el desarrollo de la investigación los sistemas de generación eólico-solares combinados y sus aplicaciones rurales, como su impacto ambiental y unos análisis técnicoeconómico de su instalación y aplicación en aéreas rurales; como guía del presente trabajo donde se explica el desarrollo y los métodos como las técnicas que se utilizaran para la recolección de información.

Se realizará una investigación documental preliminar sobre las mediciones e investigaciones realizadas a la fecha sobre el departamento de El Progreso, especialmente de la aldea San Clemente existentes en los registros del MEM y el INSIVUMEH a través de sus estaciones de monitoreo y otros documentos de investigación sobre el potencial eólico y solar en Guatemala ya desarrollados como base, junto con la toma de datos que se realizara en situ durante 3 fases, para la toma de datos de cada ubicación se tomara como plan piloto 2 casas para hacer mediciones ínsitas y un análisis de carga y demanda eléctrica.

Las variables a medir son la ubicación de los sitios con potencial energético, la velocidad del viento a y la radiación solar, esta información se recolectará en tablas y se utilizarán tablas con información existente. La toma de todos los datos se realizará con un anemómetro, piranómetro, termómetro ambiental, GPS, cámara de fotos, cinta métrica, multímetro y amperímetro de gancho, esto para elaborar cálculos matemáticos, tablas y gráficos y el levantamiento de un mapa de ubicación.

Con toda la información recolectada se procederá analizar los datos con un modelo estadístico descriptivo, para obtener promedios y determinar la cantidad de electricidad que se puede obtener (KW/H) y la alternancia de uso según su aporte y disponibilidad durante las horas del día para el almacenamiento de la energía en baterías para su utilización. Con esta información se llevará a cabo un análisis de resultados para hacer conclusiones y recomendaciones al final del mismo los cuales se esperan sean satisfactorias y coherentes a los objetivos específicos del mismo.

2. ANTECEDENTES

La Federación Ecuatoriana de Tecnología Apropriada (Fedeta) ha instalado más de 721 sistemas fotovoltaicos en las provincias de Manabí, Sucumbíos y Esmeraldas, de la zona amazónica del Ecuador, beneficiando a 4 038 personas en 18 comunidades de la región amazónica y 5 de la región de la costa; atendiendo a viviendas, casas comunales, botiquines, escuelas y cabañas turísticas, en cada una de las poblaciones beneficiadas. Todos los sistemas instalados son manejados mediante un modelo propio de sostenibilidad, a través de Unidades de Operación y Gestión Energética Sostenible denominados. (Fedeta, 2008).

En Perú existe un proyecto bajo el número de registro PER/98/G31 que tiene como objetivo promover la aplicación sostenible de energía fotovoltaica en zonas rurales del país, como una alternativa limpia, libre de la emisión de gases de efecto invernadero. Su ejecución está a cargo de la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas y es financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, a través del programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se utilizarán experiencias anteriores y las mediciones de nivel de viento para diseñar adecuadamente sistemas de fotovoltaicos de acuerdo a la ubicación geográfica de la localidad donde deban ser instalados. A este esfuerzo se añaden las actividades para garantizar la calidad de los sistemas fotovoltaicos, mediante la elaboración de especificaciones técnicas rigurosas y la capacitación de laboratorio que certifiquen el cumplimiento de las mismas. (Lima, 2011).

Fernando Funes Aguirre, en su trabajo de posgrado titulado "Modelo de sistema energético descentralizado basado en tecnología fotovoltaica para electrificación de poblaciones aisladas" concluye: El uso de tecnología fotovoltaica en el medio ambiente rural es factible y puede ser utilizada para implementar proyectos como el desarrollo de la población de Sanbuenaventura, También concluye que partiendo de los costos de la inversión se deduce que es más aplicable el proyecto para habitantes de poblaciones rurales, obtener financiamiento para energía fotovoltaica que para un sistema utilizando combustible fósil (Aguirre, 1998).

Hector Vinicio España González concluye y recomienda después de realizar su trabajo de investigación titulado "Generación distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en el sistema eléctrico secundario de distribución tradicional" A nivel mundial las energías alternas renovables tales como las solar eólica, biomasa, hidráulica y geotérmica han sido vistas como soluciones viables objetivamente alcanzables y deseables para el abastecimiento energético, y recomienda que la generación e interconexión a la red mediante generación distribuida proveniente de turbinas eólicas de pequeña capacidad, micro turbinas, celdas de combustible de hidrógeno y sistemas fotovoltaicos, se realicen por medio de inversiones de alta eficiencia pero que a su vez presenten costos bajos de adquisición (González, 2008).

Los sistemas de conversión de energía eólica son una fuente alterna de energía en relación a los métodos convencionales que hasta el momento se utilizan en Guatemala, la investigación realizada en 1998, llamada características a considerar en el diseño de una central eólica en Guatemala concluye que la aplicación es muy útil especialmente en las comunidades rurales que se encuentran aisladas o en lugares remotos donde el servicio

eléctrico si existe, es deficiente y estos sistemas tienden a solucionar en gran parte el problema del país que impide el desarrollo del área rural (García, 1998).

3. OBJETIVOS

General

Determinar si un sistema de generación híbrido de energía renovable solar y eólico es capaz de satisfacer las necesidades energéticas de un hogar en la aldea San Clemente del municipio de Morazán, del departamento de El Progreso, mediante el aprovechamiento de las mejores ubicaciones geográficas con el mayor potencial energético como medio para incrementar el indicador que mide el acceso a la electricidad dentro del Índice de Desarrollo Humano (IDH).

Específicos

1. Localizar los sitios con mejor potencial eólico y solar en la aldea San Clemente.
2. Determinar el potencial eólico de la región, de acuerdo a la velocidad del viento y la altura de captación según la dirección del viento.
3. Determinar el potencial solar por metro cuadrado de la región para la instalación y orientación de las torres de los aerogeneradores.
4. Describir la aplicación de los sistemas híbridos y sus alcances mediante la generación eléctrica producida en los puntos seleccionados.

5. Desarrollar un mapa de localización con los lugares más eficientes de potencial energético eólico y solar de acuerdo a previo análisis técnico y económico, para la instalación de los sistemas híbridos de generación renovable al menor costo disponible.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se desarrolla dentro de las líneas de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala y se desarrolla en la línea de investigación de la energía aplicada y su conservación a través del aprovechamiento de las energías renovables disponibles en la zona, realizándose con el fin específico de analizar la viabilidad para poder tener acceso a un servicio de energía eléctrica para la comunidad de la aldea San Clemente, del municipio de Morazán, del departamento de El Progreso, de forma continua, de calidad y que sea auto sostenible a través del aprovechamiento de los recursos naturales.

En los últimos años se ha producido un incremento de la pobreza en Guatemala, sobre todo en el área urbana. Esto no quiere decir que la pobreza rural haya disminuido sino que a las ciudades confluyen también los pobres rurales expulsados fundamentalmente por falta de empleo y carencia de opciones. Para poder revertir esta situación de despoblamiento rural, es necesario que los pobladores rurales puedan satisfacer sus necesidades básicas como son iluminación, comunicación, agua potable. Educación y esparcimiento al igual que sus necesidades productivas. Esto se lograría brindándoles la posibilidad de acceder a la energía eléctrica generada por un recurso natural renovable como el viento y el sol.

Dado que es necesario y urgente generar alternativas que comiencen a dar solución a problemas comunes que existen en la región como vaciamiento poblacional, deserción escolar, inestabilidad del grupo familiar, bajo nivel en la

calidad de vida, desertificación es necesario el desarrollo de un proyecto de planificación de aprovechamientos de los recursos renovables solares y eólicos en poblaciones rurales como los recurso con los que cuenta la Aldea San Clemente que está aislada y a partir del conocimiento integral de la comunidad y del aprovechamiento del recurso solar y eólico pueden lograr encontrar el camino para su desarrollo económico.

La ausencia de planes de inversión pública y los altos costos actuales de infraestructura eléctrica para redes de distribución hacen que los habitantes carezcan de oportunidades inmediatas, si no solo a través del acceso a unidades de generación eólica y fotovoltaica de energía por su lugar geográfico de ubicación como medio para incrementar su nivel de vida.

Este tipo de investigaciones servirá como guía de análisis para la valuación de electrificación de zonas rurales de forma auto sostenible usando sus recursos naturales a través de modelos híbridos de generación a comunidades rurales sin acceso o con acceso deficiente a energía eléctrica en la República de Guatemala. Actualmente se tiene un plan de electrificación que no cubre a la gran mayoría de aldeas lejanas en el futuro inmediato, lo cual condena a sus habitantes a seguir en el subdesarrollo por falta de acceso a un servicio público básico, que acentúa la necesidad de desarrollar proyectos auto sostenibles a largo plazo para tener acceso a energía eléctrica por medio del viento y del sol que en la zona del país es abundante y que al funcionar de forma combinada los sistemas híbridos garantizan energía continua para su aprovechamiento continuo.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción del problema

- La falta de una línea de transmisión de distribución de electricidad, con capacidad de transportar la potencia eléctrica necesaria para la adecuada disponibilidad de energía, con calidad para uso domiciliario y aplicaciones agrarias, impiden el desarrollo humano de la comunidad de la aldea San Clemente y limitan las oportunidades de tener acceso al agua, salud, educación y al derecho alimenticio.
- La mala calidad del fluido eléctrico y las constantes interrupciones del servicio de energía, sumado al alto costo de la factura mensual, debido a estar ubicada geográficamente en un punto que está al final de un circuito de la red de distribución eléctrica del municipio de Morazán, del departamento del El Progreso, la cual carece de una buena infraestructura y de planes de inversión pública y privada para buscar el desarrollo de la comunidad.
- La limitación de acceso a la energía eléctrica constante de los habitantes de la aldea San Clemente, provoca que el índice de desarrollo humano IDH del municipio de Morazán sea bajo, actualmente es de 0,59.

Formulación del problema

- ¿Es factible desarrollar un sistema híbrido de generación de energía renovable que tenga la capacidad de proporcionar electricidad de calidad a un costo accesible y competitivo?
- ¿Cuál es el potencial medio de energía eléctrica requerido por vivienda para cubrir la demanda mínima y satisfacer las necesidades básicas de los habitantes de la aldea San Clemente del municipio de Morazán el Progreso?
- ¿Tiene la aldea San Clemente las condiciones geográficas apropiadas para ubicar los sistemas híbridos de generación eléctrica y explotar sus recursos renovables?
- ¿El desarrollo humano de los habitantes de la aldea San Clemente puede ser incrementado teniendo acceso a la energía eléctrica constante y de calidad?
- ¿Existe el suficiente potencial energético renovable en buenas ubicaciones accesibles para su aprovechamiento y convertirlo en energía eléctrica para suplir las necesidades energéticas de la aldea San Clemente?

Delimitación del problema

El potencial energético disponible en la aldea San Clemente, municipio de Morazán, departamento del Progreso para su generación como energía eléctrica por medio de sistemas eólicos y fotovoltaicos, según las mejores

ubicaciones con la mejor calidad de viento y radiación solar de acuerdo a la geografía del lugar y los puntos de instalación de los sistemas híbridos; para el aprovechamiento de los recursos renovables y evaluar el aumento de tener acceso a energía eléctrica y constante para incrementar de acuerdo a la proporción de tener acceso a energía, el índice de desarrollo humano en los habitantes de la aldea durante el 2013.

6. ALCANCES

La presente investigación tiene como alcances impactar en los siguientes sectores: académicos, comerciales, sociales, profesionales, municipalidades y en organizaciones no gubernamentales como se detalla a continuación:

- Habitantes de la aldea San Clemente
- Poblaciones rurales aisladas
- Ingenieros electricistas y otros profesionales
- Municipalidades departamentales
- Empresas dedicadas a la comercialización de equipos de generación de energías renovables.
- ONG con proyectos de inversión de electrificación rural
- Estudiantes de universidades de Guatemala
- Proyectos de inversión de beneficio social

Describiendo el método empleado en la investigación y el análisis teórico y práctico desarrollado de los métodos empleados para obtener los resultados de campo se logrará que el estudiante como el profesional y cualquier entidad u organización y persona individual tenga la capacidad de analizar de forma clara y objetiva la importancia como la necesidad y oportunidad de utilizar los recursos renovables energéticos que se disponen actualmente en Guatemala para impulsar el desarrollo del país en áreas rurales a través del aprovechamiento del viento y el sol de cada comunidad a considerar.

Se pretende dejar las bases teóricas y metodológicas a través del análisis de la situación de la aldea y de su potencial energético renovable disponible para la implementación y puesta en marcha del proyecto por parte de la comunidad y por financiamiento propio o a través de alguna ONG.

La etapa que quedara pendiente como parte de la presente investigación será la implementación y el desarrollo del sistema de manera física, como su operación y mantenimiento, para lo cual se deja una guía establecida de cómo se debe de realizar y que aspectos se deben de considerar para su puesta en marcha y funcionamiento.

Los alcances permitirán que Guatemala como país sea beneficiado desde la perspectiva técnica y económica mediante el resultado que representara un estímulo para realizar mas estudios y análisis energeticos de energia renovable y sus aplicaciones para buscar el desarrollo de las comunidades rurales al mismo tiempo descubrir oportunidades comerciales que incentivarán las inversiones en el país de sistemas híbridos de generación.

7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

7.1. Generación en Guatemala

Conforme se fue desarrollando el Sistema Nacional Interconectado (SIN) ha sido alimentado en su mayoría por sistemas renovables (agua) y la otra parte por recursos térmicos, esta relación de generación sufrió un cambio cuando la planta de generación hidráulica Chixoy entro en funcionamiento a principios de la década de los años 80 generando en ese entonces junto con los otros sistemas hidráulicos el 59,1 % del total generado en el país, hasta ir alcanzando con el paso de los años el 98,4 % contra un 1,6 % de generación térmica y otras formas de generación (Gonzales, 2008). Con el paso de los años el origen de la electricidad que se genera en Guatemala ha sufrido varios cambios, en la actualidad se promueve el desarrollo de hidroeléctrica y las energías de origen renovable como una manera de abaratar el costo de la factura energética del país y de la sostenibilidad de los recursos naturales y las generaciones futuras.

7.1.1. Sistema Nacional Interconectado (SNI)

Se le conoce al proceso en conjunto que integra la generación transformación y distribución eléctrica en Guatemala el cual está compuesto por todas las planta generadoras, todas las líneas de transmisión y todas las subestaciones del mercado eléctrico nacional. La interconexión de todas las líneas de transmisión en sus diferentes voltajes (69, 138, 230 KV) este ramal parte desde la hidroeléctrica Chixoy en una línea de 230 KV llegando a la ciudad interconectando en un forma de anillo a la subestación Guatemala-norte

con Guatemala-este y Guatemala-sur e esta está alimentada por otra línea que proviene de la finca Mauricio en Escuintla la cual esta abastecida por varias generadoras privadas que están actualmente conectadas a la línea de 230 KV y esta a su vez están conectadas con la subestación de Guate-este y Aguachapan San Salvador y la otra en los brillantes Retalhuleu y Tapachula en México (MEM, 2007).

El sistema es administrado por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), y sus operaciones están centralizadas en sus oficinas en donde a través de un sistema SCADA monitorean las 24 horas del día el comportamiento del consumo energético nacional, sus operaciones varían dependiendo del comportamiento de la demanda energética a lo largo del día con lo cual se le da prioridad a las plantas generadoras según a un despacho económico (listado de merito) y las horas pico del día para cubrir la demanda. Esto varía de acuerdo a la época del año ya que en invierno la energía más económica es la que proviene de sistemas de generación hidráulica y en verano no lo es así, este control se hace en tiempo real durante todo el año. (AMM, 2013).

7.1.2. Oferta y demanda de energía

La demanda de energía en Guatemala siempre ha sido superior a la oferta que se tiene instalada, lo cual ha mantenido una porción de esa demanda fuera del acceso al servicio eléctrico, esto ha provocado que siempre sea de tal manera imposible darle cobertura eléctrica a las poblaciones rurales, ya que aunque se incremente la capacidad de generación con nuevas plantas generadoras esto no se compara con el crecimiento de la demanda anual y la demanda no cubierta, entonces las posibilidades de cubrir a esas poblaciones son muy bajas o nulas. Cuando se logra electrificar a estas zonas rurales

generalmente son servicios con un alto índice de fallas poco confiables y bajos en calidad de energía. (MEM, 2007).

Actualmente la biomasa sigue siendo el combustible a nivel nacional con mayor uso con un 62 % el diesel con un 13 %, la gasolina con un 7 % y 13 % de otras fuentes de energía mientras la electricidad es solo el 5 %, lo que pone al país en desventajas muy grandes para buscar el desarrollo económico. Esto es un indicador que coloca a Guatemala como un país subdesarrollado ya que de ese 5 % de energía eléctrica el 63 % es consumo residencial, el 17 % es para usos de transporte y el 12 % para la industria. (Gonzales, 2008).

7.1.3. Comercialización de energía eléctrica

Con el marco legal establecido en la ley general de electricidad en el año 1996, se iniciaron reformas que establecieron cambios en la transmisión y distribución, normas de operación comercial y operativa como procedimientos técnicos que complementan el marco regulatorio vigente. La cual establece que hay libertad para instalar centrales generadoras sin permisos especiales aparte de los establecidos en la constitución para potencias menores de 5MW. (CNE, 2013).

La función es de regulación y normativas están a cargo de de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) la comisión es un órgano técnico del MEM y cuenta con independencia funcional, así también regula los precios , la calidad de los servicios de transmisión y distribución y asegura las condiciones de competencia en el mercado mayorista de electricidad. (CNE, 2013).

La comercialización de la energía eléctrica en Guatemala se constituye por la compra y venta en el mercado mayorista cuyos precios y normas son regulados por la CNEE y las operaciones del sistema nacional interconectado son controladas por el AMM. La ley general de electricidad surge de la necesidad de que la oferta satisfaga la demanda de energía eléctrica. Por lo que es necesario aumentar la producción estableciendo normas jurídicas fundamentadas para facilitar la actuación de las entidades a cargo del sistema eléctrico, por lo que se hizo necesario crear una comisión técnica calificada la cual al igual que la ley está supeditada al ministerio de energía y minas. (AMM, 2013).

7.1.4. Regulaciones de distribución y electrificación

A finales del siglo XIX es cuando inicia la historia de la generación y distribución de energía en Guatemala, con el paso del tiempo y de diferentes etapas dentro de lo que era en ese entonces la Empresa de Electricidad Nacional, hasta que en 1957 es fundado el INDE (Instituto Nacional de Electrificación) e inicia con una planta de generación de 8,3 MW, creciendo, ya tendiendo en esa época un demanda alta por el plan de electrificación que en ese entonces se desarrollaba por parte del gobierno. Es en la década de los años 90 que se da por el impacto del fenómeno del niño en las cuencas y el exceso de lluvia la necesidad de crear el marco legal para que ingresarán empresas privadas y se desarrollara la oportunidad para la cogeneración de parte de ingenios y geotérmicas y otras a proveer electricidad para atender la demanda nacional. (García, 1998).

Es en 1996 que se publica la ley general de electricidad bajo el Decreto 93-96, dando lugar a la creación de la CNEE comisión nacional de energía eléctrica para crear y proporcionar el nuevo marco competitivo para los nuevos

participantes en las ramas de generación, distribución y comercialización de energía. Se publica un reglamento y con esto se le da vida al Administrador de Mercado Mayorista (AMM) que sin fines de lucro y cuya finalidad es coordinar las transacciones entre los participantes del AMM y garantizar un mercado libre en Guatemala. (CNE, 2013).

Se destacan en el marco regulatorio de la electricidad los siguientes:

- Servicio de distribución final (SDF)
- Calidad de servicio y sanciones
- Servicio de transporte de energía eléctrica (STEE)
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)
- Autorización para el funcionamiento de las instalaciones eléctricas

7.1.5. Sistema de transporte y redes de distribución eléctrica

El sistema de transporte está conformado por el sistema principal y el sistema secundario. Estando el sistema principal compartido por los generadores y las interconexiones a otros países, y operando básicamente en tres niveles de voltaje: 230, 138, y 69 kV. El sistema secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal. (AMM, 2013).

El sistema de distribución está integrado por la infraestructura de distribución (líneas, subestaciones y las redes de distribución) que opera en tensiones menores a 34,5 kV. Las principales empresas distribuidoras, coordinadas por la Asociación del Mercado Mayorista, son: Empresa Eléctrica de Guatemala, Distribuidora de Electricidad de Occidente, Distribuidora de Electricidad de Oriente y Empresas Eléctricas Municipales. (MEM, 2007).

7.2. Tipos de generación eléctrica con energías renovables

La energía eléctrica es vital para el desarrollo económico y humano, representa un bien esencial, está presente en prácticamente todas las actividades que se realizan en casa, en el campo, en escuelas, en la industria y en las calles y comercio, algunas de las formas de generación de energía eléctrica se mencionan en forma breve a continuación:

7.2.1. Generación hidroeléctrica

La modalidad de generación eléctrica a través de las hidroeléctricas, se utiliza la fuerza que poseen por las diferencias de alturas en sus cauces las aguas de los ríos para hacer girar las palas de las turbinas que son las que hacen que funcionen los generadores de electricidad. A pesar de ser considerada una fuente limpia, la hidroeléctrica tiene algunos puntos que son discutibles, esto se debe primero a la degradación del medio ambiente y el impacto que tiene en la alteración de las cuencas que se ven inundadas por los embalses, muchas veces de plantaciones nativas que se desaparecen para la construcción de la cortina y presa de de los resultados obtenidos en las tablas, se realizarán los gráficos correspondientes. Almacenamiento que normalmente inunda áreas que tienen vegetación. (Subicaray, 2005).

7.2.2. Generación biomásica

Es una forma eficiente de generar, utilizando los recursos vegetales o animales de la naturaleza, y a pesar de que la energía es generada por la quema, los materiales provienen de fuentes renovables en su mayoría por la leña o el bagazo de caña de azúcar, la cascara de arroz y actualmente el chip (derivado de procesos forestales) es un subproducto forestal usado con una

gran tendencia a ser explotado y su aprovechamiento ya es manejado a escala industrial por parte de las cogeneradoras. (Gonzales, 2008).

La mayor ventaja con el ambiente es un balance casi nulo por emisiones de CO₂, ya que la cantidad liberada en su combustión es la misma que fijan las plantas, la segunda es un recurso renovable local, y la tercera es que su almacenamiento puede hacerse en 3 fases: líquida, sólida o gaseosa. Los métodos más utilizados o comunes son los procesos de generación por gasificación o combustión directa. (Gonzales, 2008).

7.2.3. Generación nuclear

El proceso de generación eléctrica por medio nucleares según (Harper, 2003), “En las centrales nucleares por medio de material radiactivo como lo es el uranio enriquecido se obtiene. El proceso de generación de energía nuclear es igual al de la térmica, con la diferencia una de otra en que la central nuclear no genera residuos para la producción de energía, en tanto, el insumo nuclear y radioactivo, aún después de su vida útil (aproximadamente 50 años), es necesario que sea desechado. No hay manera de eliminar ese material radioactivo, solo hay forma de almacenarlo, que resulta muy costoso y poco eficiente” (p. 12).

7.2.4. Generación geotérmica

Sobre la energía geotérmica (Donald Fink, 1996) “La energía geotérmica está presente en toda la superficie terrestre varía solo en la facilidad y costo de extracción. La necesidad de explotar el recurso menos costoso ha llevado de recursos geotérmicos básicamente en zonas volcánicas, sin embargo este recurso no está restringido solo a esas zonas. Esta energía se ha utilizado para

generar electricidad desde 1904 y carece de fluctuaciones diarias o temporales y esto la convierte en una energía confiable” (p. 11-11,12).

La energía eléctrica generada a partir de las centrales geotérmicas con distintas fuentes primarias de energía es la mas usada en todo el mundo y proviene de la explotación de los recursos naturales en su mayoría del vapor de agua provenientes de los volcanes o geiser de de forma natural, produciendo vapor seco, siendo estos sistemas muy eficientes en grandes escalas de producción y son amigables con el ambiente para su funcionamiento a muy bajo costo de inversión inicial la energía del vapor se hace pasar a las turbinas que accionan a los generadores de electricidad produciendo electricidad constante y confiable (Subicaray, 2005).

7.2.5. Generación híbrida

Una unidad híbrida de generación es una unidad eólica y fotovoltaica combinada para generar energía eléctrica que se caracteriza por la combinación de sistemas fotovoltaicos (paneles solares) y un aerogenerador, de manera que a través de los paneles fotovoltaicos se obtiene una corriente continua, y mediante el aerogenerador se obtiene electricidad en forma de corriente alterna. Para su funcionamiento se incorporan distintos dispositivos para controlar la energía eléctrica generada con el fin de poder acumularla en baterías de ciclo profundo, así como un dispositivo inversor para transformar la corriente eléctrica continua en una corriente alterna, para poder aprovechar finalmente esta corriente alterna conectando distintos equipos de consumo (Beaty, 1996).

7.3. Energía eólica

La energía del aire en movimiento (viento) ha sido desde el principio del desarrollo del ser humano para diferentes aplicaciones agrarias principalmente con molinos de viento. En los últimos tiempos se ha industrializado sus aplicaciones y esto ha dado como resultado el perfeccionamiento de las turbinas de viento que son utilizadas para convertir la energía del viento en electricidad (Harper, 2003), se debe de entender correctamente el funcionamiento de estos los aerogeneradores y tener en consideración algunos conceptos y nociones que se han basado para su diseño. (Harper, 2003).

Las fuentes de energía renovables en su mayor parte provienen del SOL, El sol irrradia 174.423×10^9 kilowatts de energía por hora hacia la tierra. Alrededor de un 1 a 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica y son los vientos con los desplazamientos de aire en la atmósfera los que dan dinamismo a esta energía. Su origen se debe a la diferencia de presión entre áreas anticiclónicas y ciclónicas, que son emisoras y receptoras de viento respectivamente. Cuanto mayor es la diferencia de presión, mayor será la velocidad de los vientos. (Subicaray, 2005).

La energía del viento que es transformada en electricidad se llama energía eólica y es una fuente de energía atractiva especialmente en aquellas zonas donde la infraestructura de las líneas de transmisión no ha sido totalmente desarrollada, tiene la ventaja de ser modular y de una instalación bastante rápida, es sencillo ajustar el suministro con la demanda, y es un tipo de energía bastante confiable y gratis. (Harper, 2003).

7.3.1. Energía del viento

Un cuerpo en movimiento posee una capacidad de efectuar trabajo denominada energía cinética que es proporcional a la masa del cuerpo y al cuadrado de su velocidad. Pero la energía también puede estar contenida en potencia de muy diversas maneras, se la llama, energía potencial. (Donald Fink, 1996).

Se entiende por potencia como la capacidad de producir o consumir energía en un determinado intervalo de tiempo. Después de analizar el comportamiento del viento y que este puede ser convertido en electricidad y esta a su vez puede ser utilizada para aplicaciones de iluminación y fuerza dentro de viviendas escuelas y servicios públicos de iluminación es conveniente conocer la mecánica del viento y las fuerzas gravitacionales y solares que tienen influencia directa en sus aplicaciones y limitaciones. Al comprender la naturaleza y las características de los recursos del viento también es importante saber escoger los sitios con mejor recursos eólicos. (Pacco Ramirez, 2008).

Se puede decir que cada propiedad predio o sitio tiene su propio microclima, los patrones de comportamiento de algunos vientos locales se pueden ver afectados por la forma del terreno y algunas otras obstrucciones naturales o hechas por el hombre.

7.3.2. Mecánica del viento

Es necesario distinguir cual es la diferencia entre la velocidad del viento y la potencia del viento para estudiar y comprender su dinámica. (Harper, 2003).

La velocidad del viento es el índice o cantidad de viento que pasa sobre la superficie terrestre y está sujeta a muchas variables que afectan su velocidad, mientras la potencia del viento es la medida disponible en el viento, es una función del cubo de la velocidad del viento, es decir que si la velocidad del viento se duplica su potencia se incrementa en una potencia de 3, por ejemplo si la velocidad del viento se duplica la potencia de este ser $2^3=8$ esto quiere decir que si la velocidad tiene una pequeña variación la potencia tendrá una gran diferencia tanto en un incremento como en un decremento de la misma., es por esta razón que se debe de poner especial atención al estudio previo en el diseño, donde la temperatura, presión y la densidad del aire juegan un papel importante para su análisis. A continuación se describe la metodología de cálculo.

$$EC = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

Donde:

m = Masa de aire que se mueve a una velocidad V

La potencia disponible en el viento está determinada por la ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^2 \quad (2)$$

Donde:

P = Potencia

A = Área del rotor

ρ = Densidad del aire

V = Velocidad del viento

Como la densidad del aire varia con el cambio de temperatura y la presión podemos usar la siguiente ecuación:

$$P = (1,325 \times P) / T \quad (3)$$

Donde:

T = temperatura en grados Fahrenheit = 459,69

ρ = presión en pulgadas de mercurio ajustada para la altura

Se usa como valor estándar la densidad del aire a nivel del mar y se hace la corrección dependiendo de los valores obtenidos de presión y temperatura obtenidos en el lugar de medición en particular. Estos valores a nivel del mar se pueden obtener usando la siguiente ecuación.

$$P = 0,625 AV^3 \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

$$P = 0,00508 AV^3 \quad (\text{pies/s}) \quad (5)$$

Donde:

P = potencia en watts

A = área de la sección transversal en m^2 o pie^2 que es barrida por el rotor

V = velocidad del viento en m/s

Para el cálculo de área de barrido de una turbina de eje horizontal se procede a utilizar la siguiente ecuación

$$A = (\pi/4) \times D^2 \quad (6)$$

Donde

D = diámetro del rotor

Debido a que la velocidad del viento no es constante nunca en ningún sitio dado, y que su potencia varía sobre el cubo de la velocidad es necesario siempre utilizar las velocidades promedios de largo plazo para cálculos.

La densidad de potencia es otro concepto utilizado para cálculos de estudios de factibilidad de producción eólica, y esto se hace expresando las ecuaciones de la potencia del viento en términos del área

$$P/A = 0,6125 V^3 \quad (7)$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg / m}^3 \quad (8)$$

Donde:

P = potencia en watts

A = área de la sección transversal en m^2 que es barrida por el rotor

V = velocidad del viento en m/s

P/A = densidad de potencia en watts/m^2

También

$$\rho / A = 0,0058 V^2 \quad (9)$$

Donde:

P = potencia en watts

A = área de la sección transversal en Pies^2 que es barrida por el rotor

V = velocidad del viento en millas / hora

P/A = densidad de potencia en watts/pie^2

Se debe hacer notar que la densidad del aire baja cuando aumenta la temperatura, esto quiere decir que el aire es menos denso en verano que en invierno, variando entre un 10 % a 15 %. (Garcia, 1998).

7.3.3. Fuerza de Coriolis

Es una fuerza no inercial de curvatura que experimenta un cuerpo que se desplaza a una cierta velocidad por la superficie de un planeta con rotación en torno a su eje vertical, esta fuerza, provoca que los cuerpos que se desplacen en el hemisferio norte sufren en su desplazamiento una continua desviación hacia la derecha, mientras que en el hemisferio sur será hacia la izquierda. (Donald Fink, 1996).

La fuerza de Coriolis es un fenómeno visible por ejemplo las cuencas de los ríos están excavadas más profundamente en una cara que en la otra, la cual depende en qué hemisferio nos encontremos: en el hemisferio norte las partículas sueltas son desviadas hacia la derecha. En el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj cuando se acerca a un área de bajas presiones. En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones. (Pacco Ramirez, 2008).

La fuerza de Coriolis actúa sobre cualquier móvil por unidad de masa y su componente horizontal es:

$$F_c = -2\Omega \sin\phi V \quad (10)$$

Donde:

Ω = es la velocidad angular de la tierra (360° en 24 horas o 7.29×10^{-5} radianes/seg),

Φ = es la latitud

V = la velocidad del móvil. A $2\Omega \text{ sen}\phi$ se le conoce como parámetro de Coriolis.

La dirección de la fuerza es perpendicular al movimiento y hace que en el Hemisferio Norte el aire se desplace desviándose constantemente hacia la derecha (al contrario en el Hemisferio Sur). Por lo tanto, el movimiento anticiclónico es en sentido horario y el ciclónico en sentido anti horario. La desviación es proporcional al seno de la latitud y por lo tanto será máxima en los polos ($\text{sen}\phi = 1$). Para las latitudes peninsulares (36° a 44°) el parámetro de Coriolis varía entre $8,5 \times 10^{-5}$ y $10,1 \times 10^{-5}$.

En la atmósfera libre y en situación de equilibrio, la fuerza del gradiente de presión queda equilibrada con la de Coriolis:

$$\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta n} = -2\Omega \text{sen}\phi V \quad (11)$$

Donde

ρ = es la densidad del aire

Δp = es la diferencia de presión entre dos puntos

Δn = es la distancia que los separa cuando ambos puntos cruzan perpendicularmente las isóbaras.

El viento ideal que cumple esta igualdad se denomina viento geostrófico y su valor, velocidad geostrófica:

$$V_g = -1/(2\rho\Omega\sin\Phi) * \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad (12)$$

Debido a esto, el viento sube desde el Ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento sube desde el Ecuador hay un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo, que atrae a los vientos del norte y del sur. En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío. Estos fenómenos, tienen como resultado que las direcciones dominantes de los vientos alrededor de la Tierra sean los que se muestran en la tabla I:

Tabla I. **Dirección de los vientos dominantes alrededor de la tierra**

LATITUD	DIRECCION
90-60°N	NE
60-30°N	SO
30-0°N	NE
0-30°S	SE
30-60°S	NO
60-90°S	SE

Fuente: (Pacco Ramirez, 2008).

7.3.4. **Vientos geostróficos**

Los vientos que han sido considerados como vientos globales son en realidad los vientos geostróficos. Los vientos geostróficos son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, así como por las de presión, y apenas son influenciados por la superficie de la tierra. Los vientos

geostróficos se encuentran a una altura de 1 000 metros a partir del nivel del suelo. El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. (Harper, 2003). “Alrededor de los 30 grados de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento sube desde el ecuador existe un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur”. (Pacco Ramirez, 2008).

7.3.5. Vientos locales

Los vientos globales son importantes en la determinación de los vientos dominantes de un área determinada, las condiciones climáticas locales pueden influir en las direcciones de viento más comunes. (Harper, 2003). Siempre se superponen en los sistemas eólicos a gran escala, esto es la dirección de viento es influenciada por la suma de los efectos global y local. Cuando los vientos a gran escala son suaves, los vientos locales pueden dominar los regímenes de viento. (Energía, 2009).

Existe una interacción entre los vientos locales y los llamados de gran escala, tales como los vientos katabáticos en las regiones de montañas o las brisas en las regiones costeras. La topografía de cada lugar afectan la magnitud del viento en las ciudades, los bosques, los valles y su dirección. (Energía, 2009).

7.3.6. Vientos de montaña

En las regiones montañosas muestran modelos de clima muy interesantes. Un ejemplo es el viento del valle que se origina en las laderas que dan al sur (o próximo a ellas están calientes la densidad del aire disminuye, y el aire asciende hasta la cima siguiendo la superficie de la ladera. Durante la noche la dirección del viento se invierte, convirtiéndose en un viento que fluye ladera abajo. Si el fondo del valle está inclinado. El aire puede ascender y descender por el valle; este efecto es conocido como viento de cañón. Los vientos que soplan en las laderas a sotavento pueden ser bastante potentes. Ejemplos de ellos son: el Fhon de los Alpes en Europa, el Chinook en las Montañas Rocosas de los Estados Unidos y el Zonda en los Andes. (Fedeta, 2008).

Ejemplos de otros sistemas de viento locales son el Mistral, soplando a lo largo del valle del Rhone hasta el Mar Mediterráneo, y el Siroco, un viento del sur proveniente del Sahara que sopla hacia el Mar Mediterráneo (Energia, 2009)

7.3.7. Aspectos topográficos y rugosidad

Aproximadamente a un kilómetro de la superficie terrestre el efecto ejerce influencia alguna sobre el viento. Sin embargo, en las capas más bajas de la atmósfera, las velocidades del viento se ven afectadas por la fricción con la superficie terrestre, entre los factores que afectan el comportamiento del viento se encuentran: (Aguirre, 1998).

- La rugosidad del terreno
- La influencia de los obstáculos
- La influencia del contorno del terreno
- La orografía del área

La rugosidad de una determinada superficie se establece por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene. Para superficies terrestres son la vegetación, los edificios, y la superficie del suelo. Se halla la rugosidad del terreno mediante el parámetro llamado longitud de rugosidad, z_0 , cuyo sentido físico es la altura a la que la velocidad media es cero cuando el viento tiene una variación logarítmica con la altura. El valor de z_0 , puede estimarse mediante la expresión:

$$z_0 = 0,5^{H^s/A_H} \quad (13)$$

Donde:

H = es la altura

S = es la sección cara al viento de los elementos de rugosidad

A_H = el área horizontal media de cada uno de los elementos

En general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno mayor será la ralentización que experimente el viento. Las grandes ciudades y los arboles ralentizan mucho el viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos solo ralentizan ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento. (Miliarium, 2007).

Tabla II. **Rugosidad del viento**

Rugosidad	Z ₀	Tipo de paisaje
0	0.0002	Superficie del agua
0.5	0.0024	Terreno completamente abierto con una superficie lisa, por ejemplo, pistas de hormigón en los aeropuertos, Césped cortado, etc.
1	0.03	Área agrícola abierta sin cercados ni setos con edificios muy dispersos. Sólo colina suavemente redondeadas
1.5	0.055	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1,250 metros.
2	0.1	Terreno agrícola con algunas casas y setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 metros
2.5	0.2	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia de 250 metros.
3	0.4	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con muchos o altos setos resguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual.
3.5	0.8	Ciudades más grandes con edificios altos.
4	1.6	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

Fuente: (Santos Ruano, 2005).

7.3.8. **Equipo de medición**

La velocidad del viento se mide en metros por segundo y la dirección de orientación es de donde procede el viento la cual se expresa en grados contados en el sentido de las agujas del reloj a partir del norte geográfico; a ese punto se le asigna el valor de 0° o 360°, al este 90°, al sur 180° y al oeste 270°. La equivalencia de las medidas de velocidad son las siguientes: 1 nudo = 1,852 kilómetros/hora = 0,515 metros/segundo.

7.3.8.1. Anemómetros

Las mediciones de la velocidad del viento se realizan normalmente usando un anemómetro de cazoletas, el anemómetro de cazoletas tiene un eje vertical y tres cazoletas que capturan el viento. El número de revoluciones por segundo son registradas electrónicamente. Normalmente, el anemómetro está provisto de una veleta para detectar a dirección de viento. En lugar de cazoletas el anemómetro puede estar equipado con hélices, aunque no es lo habitual. (Harper, 2003).

Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o láser, que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas de aire. Los anemómetros de hilo electro calentado detectan la velocidad del viento mediante pequeñas diferencias de temperatura entre los cables situados en el viento y en la sombra del viento (cara a sotavento). La ventaja de los anemómetros no mecánicos es que son menos sensibles a la formación de hielo. Sin embargo, en la práctica los anemómetros de cazoletas son ampliamente utilizados, y modelos especiales con ejes y cazoletas eléctricamente calentados pueden ser usados en las zonas árticas. (IEEE, 2003).

La mejor forma de medir la velocidad del viento en una futura localización de una turbina eólica es situar un anemómetro en un extremo superior de un mástil que tenga la misma altura de buje esperada de la turbina que se va a utilizar. Esto evita la incertidumbre que conlleva el recalcular la velocidad del viento a una altura diferente.

Por lo general, las velocidades de viento son medidas en medias de 10 minutos. Los resultados en las velocidades del viento son diferentes si se utilizan diferentes períodos de tiempo para calcular las medias. (Garcia, 1998).

Colocando e anemómetro en la parte superior del mástil se minimizan las perturbaciones de las corrientes de aire creadas por el propio mástil. Si el anemómetro está situado en la parte lateral del mástil es fundamental enfocarlo en la dirección del viento dominante para minimizar el abrigo de viento de la torre. Para evitar el abrigo de viento, en lugar de utilizar torres de celosía, normalmente se utilizan postes cilíndricos delgados, tensados con vientos, en los que se colocan los mecanismos de medición del viento. Los datos de las velocidades y direcciones del viento obtenido por el anemómetro son recogidos en un chip electrónico en una pequeña computadora, el registrador de datos, que puede funcionar con batería durante un largo período de tiempo. (Garcia, 1998).

7.3.9. Componentes de un sistema de energía eólica

Un sistema de conversión de energía eólica tiene una construcción relativamente simple, que cuando se instala para aplicaciones en zonas aisladas o rurales, puede ser operado y mantenido por la población local. Sus componentes básicas son las siguientes (Cabrera, Grupo blas, 2005).

7.3.10. Aerogeneradores

La principal componente de un sistema de conversión de energía eólica es la turbina. Un sistema de hélices o paletas montadas sobre una torre se hace girar por el viento para producir directamente trabajo mecánico o también para

bombeo de agua, o bien acoplar a un generador eléctrico para transformar esa energía a eléctrica (Pacco Ramirez, 2008).

7.3.11. Tipología de los aerogeneradores

Los aerogeneradores pueden ser clasificados de muchas maneras, la manera en la cuales se clasifican se describen a continuación: (Santos Ruano, 2005).

7.3.11.1. Por la posición del aerogenerador

El aerogenerador puede estar en dos posiciones las cuales son:

- Eje vertical
- Darrieus
- Panemonas
- Sabonius

7.3.11.2. Eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal, a diferencia de los anteriores, aprovechan más el viento. La altura que se consigue situar el eje que mueve e generador es muy superior a los anteriores y esto se debe que estas turbinas eólica sean las mas utilizadas en la actualidad, pues su tecnología sigue creciendo no solo por la altura sino por la calidad y medios mejorados de los componentes que se utilizan en la generación de electricidad. Estos son llamados así por su forma "HAWTS". (Escudero Pascual, 1998).

7.3.11.3. Por la posición del equipo respecto al viento

Dependiendo del ángulo o parte en al cual sea aprovechado el viento se clasifican en:

7.3.11.3.1. A barlovento

Ese nombre se reciben las máquinas que reciben el flujo de corriente del viento en la parte de las palas, es decir que en el aerogenerador el viento será tocado en un principio por las palas, esto tiene algunas ventajas de los diseños a sotavento es que se evita las pérdidas por fricción del viento así como no modificar el viento y aprovecharlo a su máximo en un flujo que sea lo mas laminar posible.

Con mucho la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño y tiene como desventaja que necesita mecanismos de orientación.

7.3.11.3.2. A sotavento

Este tipo de aerogenerador tiene la góndola en la parte frente a la dirección del viento, este tipo posee la ventaja que el poseer la góndola al frente esta misma le funciona como un mecanismo de dirección y no es necesario que cuente entonces con uno, aunque este tipo de direccionamiento es poco confiable para aerogeneradores mayores debido a su peso, posee esta ventaja se puede denotar que crea turbulencias en el viento antes que hagan contacto con las aspas lo cual es perjudicial para el aprovechamiento de la energía.

7.3.11.3.3. Por número de palas (Aspas)

Se puede clasificar en 4 grupos según el número de palas o aspas:

- Una pala
- Dos palas
- Tres palas
- Multipalas

7.4. Energía solar

Este tipo de energía en el sector de generación se encuentran clasificada con las tecnologías de generación de energía limpia, algunas ya existen desde hace varios años, pero han ganado notoriedad en la actualidad debido a que es probablemente la mas amigable con el ambiente y no produce ningún tipo de contaminación ambiental en su proceso. (Subicaray, 2005).

Entre estas tecnologías esta la energía solar generada por la conversión de los rayos solares a partir de las llamadas celdas o células fotovoltaicas. Esta fuente de energía es extremadamente limpia, pero los obstáculos para una mayor utilización son los costos y las dificultades para almacenamiento para suplir los períodos sin sol en los días nublados ya que se encuentra con la dificultad de esta gran limitación para aplicaciones de elevada exigencia de potencia. (Escudero Pascual, 1998).

El análisis espectral de la luz que nos llega del sol condujo al descubrimiento de un nuevo elemento hasta entonces no identificado al que se le denominó helio. Posteriormente en 1895 el helio fue encontrado también en la tierra. La fuente de toda la energía solar se encuentra en el núcleo. Las

especiales condiciones de presión y temperatura que en él no se han hacen posible lo que conocemos como fusión nuclear. En este proceso cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan para producir una de helio, con una pequeña pérdida de masa que aparece en forma de energía de acuerdo con la conocida ecuación planteada por Albert Einstein (Harper, 2003):

$$\Delta E = \Delta m * C^2 \quad (12)$$

Donde:

ΔE = energía producida

Δm = pérdida de masa en kg

C = velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s)

La reacción nuclear (hidrógeno-helio) se produce muy lentamente por la baja probabilidad de que al chocar 2 núcleos de hidrógeno se forme uno de helio (del orden de 10^{12}), además gracias a lo cual el Sol no explota. De acuerdo con la ecuación de la reacción, cada kg de hidrógeno consumido produce $5,2 \times 10^{13}$ Joule. Prácticamente la totalidad de la energía producida en el núcleo se emite en forma de radiación y, la cual es una onda electromagnética de altísima frecuencia, que en su camino hacia la superficie del Sol, a través de las zonas radiactiva y convectiva, va cediendo energía y disminuyendo su frecuencia. Así las ondas electromagnéticas emitidas por la superficie están fundamentalmente en las bandas visibles e infrarrojas. (Subicaray, 2005).

7.4.1. Constante solar

Se denomina así a la cantidad de energía que nos llega del Sol en la unidad de tiempo. A la unidad de superficie normal a la dirección de la radiación incidente, en la superficie exterior de nuestra atmósfera, la llamaremos G_c y es la misma que se recibiría sobre la superficie de la tierra en caso de que no hubiera atmósfera (Beaty, 1996).

7.4.2. Energía solar fotovoltaica

Con el término se designan distintos fenómenos y tecnologías que permiten la conversión de la energía de la radiación solar en energía eléctrica mediante el empleo de dispositivos llamados celdas solares (Beaty, 1996 p. 11-4).

Aunque el efecto fotovoltaico fue descubierto por el Francés Edmund Becquerel en 1839, no fue sino hasta 1941 cuando se fabricó la primera celda solar de Selenio en la que se conseguía una eficiencia del 1 %. Desde entonces se ha ido produciendo importantes avances impulsados inicialmente por la carrera espacial que ha hecho de la tecnología fotovoltaica una tecnología madura y fiable. Los rendimientos en celdas especiales de laboratorio y bajo radiación concentrada han llegado a alcanzar valores superiores al 30 % y la tecnología del silicio cristalino se ha convertido en la tecnología líder consiguiendo rendimientos de hasta 17 % sin concentración en celdas comerciales. (Harper, 2003).

7.4.3. Celdas fotovoltaicas

La mayoría de las celdas o células y módulos fotovoltaicos que se encuentran en explotación en instalaciones de uso terrestre, emplean silicio, en sus formas mono cristalina, poli cristalina o amorfa, como materia semiconductor de base. El procedimiento de fabricación de las celdas de silicio mono o poli cristalino es esencialmente el mismo, y comprende las siguientes etapas básicas:

- Obtención de silicio de grado metalúrgico
- Purificación del silicio
- Crecimiento de los cristales de silicio
- Producción de las obleas de materia semiconductor base
- Ataque químico y tartarización
- Formación de la unión
- Colocación de los contactos metálicos
- Tratamiento anti reflexivo

7.4.4. Celdas de lámina delgada

Las celdas de lámina delgada que han sido objeto de mayor atención y que se pueden encontrar en el mercado, aunque algunas de ellas con cierta dificultad, son las de:

- Silicio amorfo
- Arsenuro de galio
- Telurio de cadmio
- Diseleniuro de cobre e indio (CIS)

7.4.5. Sistema fotovoltaico

Por lo general, el voltaje proporcionado por una sola celda no tiene utilidad, ya que alcanza valores del orden de 0,06 volts a circuito abierto en celdas de silicio. Es necesario por tanto conectar un determinado número de celdas para conseguir voltajes de utilidad. Los paneles fotovoltaicos están contruidos por un número de celdas conectadas en serie que varían entre 30 y 36.unidades interconectadas. (Perez, 2002).

Las celdas fotovoltaicas son muy frágiles y sensibles a la humedad y al polvo, por lo que para su utilización en las instalaciones deben protegerse de forma adecuada, mediante una superficie transparente que suele ser de vidrio templado de bajo contenido de hierro y un material encapsulado que impida la entrada al agua y al polvo. (Diaz Castillo, 2005).

7.4.6. Aplicaciones rurales

En los países más pobres el uso de pequeñas máquinas alimentadas con energía eléctrica solar puede mejorar la calidad de vida y las condiciones de trabajo en las zonas rurales. La utilización de la energía fotovoltaica en máquinas agrícolas de pequeña potencia (por debajo de 500 W), que tradicionalmente se han accionado manualmente, por tracción animal o con grupos electrógenos con bajas eficiencias, aparte de liberar a las mujeres de la dureza física de determinadas tareas, contribuye a mejorar la calidad de los productos. Son ejemplo de posibles máquinas a usar: molinos de grano, descarrilado ras de arroz, molinos de aceite, ralladores, etc. La energía fotovoltaica también se utiliza para alimentar los ventiladores y sistemas de control en secadores solares (mismos que utilizan la energía térmica del sol y que son motivo de un estudio completo). (Perez, 2002).

Otras aplicaciones de importancia creciente son el accionamiento de ventiladores y la alimentación de los sistemas de aireación para piscicultura. Y por último una aplicación es la conservación de productos perecederos.

7.4.7. Radiación

(Harper, 2003), expone "La radiación que procede directamente del sol se refleja en la atmosfera por la presencia de las nubes, el vapor de agua etc... Y es dispersada por las moléculas de agua, el polvo en suspensión etc. Por lo que la radiación que llega a la tierra se divide en tres componentes:

- Radiación directa
- Radiación Difusa (dispersión)
- Radiación de albedo (reflexión)

7.4.8. Efecto de la irradiancia e insolación

Los efectos que tienen la irradiancia y la insolación para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos es de suma importancia comprenderlos, en particular la insolación.

La irradiancia es la intensidad de la luz solar de una región en específico, se mide en watts / m^2 y es máxima cuando la superficie está colocada perpendicular a los rayos solares, en un día soleado la Irradiancia puede llegar a 1,0 a 1,2 Kw/ m^2 . (Harper, 2003).

La insolación es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo sus unidades son ($\text{kw h}/\text{m}^2$), para dimensionar un sistema fotovoltaico es necesario conocer la insolación diaria promedio, generalmente

se expresa en Horas Solares Promedio (HSP). Una hora solar promedio es la energía recibida durante una hora a una irradiancia promedio de $1 \text{ Kw-h/m}^2 = 1\text{HSP}$. (Donald Fink, 1996)

7.4.9. Sistemas eólicos

A un sistema eólico se le conoce como un sistema capaz de captar la energía cinética del viento, transformándola en energía mecánica al inducir un movimiento en el eje central de la hélice y esta a su vez transmite esa fuerza a un generador síncrono que produce electricidad en forma alterna (AC) La potencia generada está directamente relacionada a la tercera potencia de la velocidad del viento. (Pacco Ramirez, 2008).

Estos sistemas pueden estar conectados a la red o ser sistemas aislados, Esto va a depender de la ubicación geográfica de la utilización de la energía y de la cantidad de energía que puede ser producida por el sistema. El excedente de energía puede ser vendido a la red eléctrica. (Pacco Ramirez, 2008).

7.4.10. Sistemas fotovoltaicos

Son generadores solares las fuentes de energía inagotable por proceder de forma directa del sol, y es natural y renovable continuamente. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico es decir de energía lumínica se convierte a energía eléctrica a través de paneles solares o células solares. (Yool, 2011).

Existen 2 opciones

- Conectados a la red
- Aislados de la red (rurales)

En el caso de los sistemas aislados de la red eléctrica es necesario almacenar la carga recolectada en baterías de ciclo profundo para su utilización principalmente en horas nocturnas.

7.4.11. Pequeños sistemas rurales

Los sistemas en áreas rurales que operan en forma aislada para suministro de viviendas o áreas de cultivo y granjas, donde se puede alimentar las cargas con corriente DC o AC con respaldo en DC (baterías). Los sistemas que operan en forma aislada de la red básicamente deben de estar compuestos por los siguientes elementos

- Turbina de viento
- Panel solar
- Regulador de carga
- Baterías de ciclo profundo
- Pararrayos
- Inversor
- Fusibles e interruptores
- Torre
- Cableado y puesta a tierra

7.4.12. Torres

Las torres son parte básica de los sistemas eólicos y fotovoltaicos de generación eléctrica, hay factores importantes que se deben de considerar para su selección desde el inicio del diseño. La altura y la base en que se auto soportará son muy importantes para su funcionamiento óptimo según la potencia que se generara, existen tres tipos de torres que se pueden utilizar:

- Inclínadas hacia arriba
- Retenidas fijas
- Auto soportadas

Los materiales pueden variar en su construcción pero deben de ser de hierro y pueden ser de un solo mástil o tubo o tipo celosilla. (Díaz Castillo, 2005).

7.4.13. Banco de baterías

El dimensionamiento de un correcto banco de baterías puede ser un cálculo complejo e importante, si es demasiado grande se corre el riesgo de no cargarlo nunca, y si es muy pequeño no se podrán alimentar las cargas por el periodo de tiempo esperado o que se requiere.

La carga de las baterías puede ser utilizada en corriente DC o AC solo es cuestión de pasar la corriente DC por un inversor según el cálculo de potencia requerido en la instalación. Las baterías requeridas para estas aplicaciones son las de ciclo profundo y se deben de considerar los siguientes aspectos:

- Uso diario
- Días de autonomía
- Límite de profundidad de descarga
- Temperatura ambiente de operación de las baterías

Los voltajes opcionales de operación son de 12v, 24v, y 48v. (Aguirre, 1998).

La capacidad de almacenamiento se define como la cantidad de corriente que una batería podrá entregar por un número dado de horas a su voltaje normal y a una temperatura de 25 °C. Generalmente se designa en amperes-hora (Ah), y es el producto de la corriente en amperes y el tiempo de horas.

7.4.14. Aspectos de instalación y mantenimiento

La instalación y mantenimiento de sistemas eólicos y fotovoltaicos se pueden realizar de distintas maneras según las diferentes aplicaciones que se tengan, tanto en zonas rurales como en zonas urbanas. Se pueden instalar sobre el terreno en bases diseñadas, sobre techos, muros o en postes, y eventualmente en andadores, persianas para cubrir sol en edificios, etc. En todos los casos siempre se debe dejar suficiente espacio para que el aire circule libremente. Los sistemas necesitan muy poco mantenimiento y rara vez fallan, solo es necesario para dar un mejor uso, mantenerlos libres de obstáculos durante el año, el polvo no afecta en forma significativa la producción de los sistemas. (IEEE, 2003).

En la instalación se debe de considerar el tipo de cimentación según el terreno y sus aspectos geológicos según la topografía del lugar seleccionado.

El mantenimiento es un requisito indispensable en estos sistemas y va mas recargado por el mantenimiento que necesitan los sistemas eólicos que los fotovoltaicos, todo esto con el fin de conservar el equipo en buen estado con sus componentes y prolongar su vida útil. (Santos Ruano, 2005).

Existen cuatro tipos de mantenimiento que se pueden aplicar:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento proactivo
- Mantenimiento correctivo

Este último debe de ser llevado a cabo por mano de obra calificada con herramienta y equipo especial de trabajo. Aunque es necesario por el tipo de componentes y funcionamiento el mantenimiento correctivo de estos sistemas tiende a ser muy bajo y en zonas rurales es muy adecuado por la misma razón, Es necesario conocer los aspectos básicos de funcionamiento para saber aplicar los tres primeros tipos de mantenimiento descrito por parte del usuario final. (Perez, 2002).

7.5. Factores ambientales y económicos de la generación híbrida en el área rural

En cualquier parte del mundo para dar acceso a la energía eléctrica es necesario hacer llegar la red de distribución eléctrica, pero en lugares alejados y con poca densidad de población, una alternativa son los sistemas eólicos y fotovoltaicos son una buena opción técnica y económica.

7.5.1. Factores ambientales

Cualquier proyecto debe de ser analizado desde un punto de vista crítico respecto al ambiente, y debe de ser considerado su impacto ambiental conociendo todos sus pormenores y todos los puntos de influencia ambiental y adelantarse a métodos de mitigación ya puesto en marcha. Entre los factores más importantes de los proyectos híbridos de generación eléctrica en áreas rurales se pueden destacar los siguientes:

7.5.1.1. Repercusión en el uso de las tierras

La repercusión principal que se dará en las tierras utilizadas por un proyecto donde se instalarán sistemas eólicos y fotovoltaicos, serán las modificaciones que se le den al mismo en el lugar donde se instalarán los sistemas, aunque el espacio requerido es muy poco es casi despreciable. El uso de la tierra es prácticamente nulo, esto se aplica únicamente a proyectos aislados en zonas rurales, donde el área puede ser compartida con cultivos o viviendas. (Cabrera, Grupo blas, 2005).

7.5.1.2. Impacto visual

Según (Perez, 2002), “El impacto visual producido por los aerogeneradores es bastante subjetivo, ya que algunos lo ven como embellecer los paisajes ya que son edificaciones muy elegantes y con gran atractivo, principalmente las torres tubulares con rotores tripala, mientras que otros lo ven con desacuerdo debido a las modificaciones del paisaje. En esto se deberá tener mucho cuidado con las quejas que los habitantes en el caso de existir en los alrededores”.

7.5.1.3. Impacto en el medio ambiente

Existe un nivel de impacto ambiental en el uso de aerogeneradores por en zonas habitadas, la repercusión más común es la provocada por por el choque del viento contra las palas, al choque del viento en objetos naturales se le conoce como ruido blanco, que es el producido en diferentes frecuencias según sea la forma del objeto con el que impacte, el ruido también puede producir vibración. (Salazar, 2004).

Las palas del rotor producen un ligero silbido que puede oírse de cerca, aunque es casi despreciable si se produce ruido blanco, este probablemente sea la mayor contaminación ambiental que estos equipos puedan ocasionar junto con la contaminación visual, pero en ninguno de los casos es perjudicial al ser humano. (CHAN, 2010).

En Guatemala para su cumplimiento y marco legal estos proyectos están apoyados en la rama ambiental por la legislación existente par estudios de impacto ambiental en Guatemala, principalmente en el artículo 23-2003, la Ley del Medio Ambiente y la Ley General de Electricidad y Normas Internacionales a La Conservación de Medio Ambiente. (Congreso, 2003).

7.5.1.4. Impacto al entorno social

La creación de proyectos de generación eléctrica por medio eólico trae consigo un impacto positivo en la economía y a sociedad de la región, considerando que se necesita la utilización de mano de obra, que radique en las cercanías del lugar.

Esta creación de nuevas plazas para trabajadores trae consigo e mejoramiento de la calidad de vida de algunas de las familias de la zona y también efecto en nuevos empleos para todo el lugar donde se lleve esta energía.

7.5.2. Factores económicos

Los factores económicos que influyen en la puesta en marcha de un proyecto de impacto social deben de ser analizados desde un punto de vista social y comprender su fin principal, que es beneficiar de forma directa a las

comunidades y deben de ser proyectos auto sostenibles y de una alcance real y factible analizando desde su análisis hasta su mantenimiento y costo de operación (Energia, 2009).

7.5.2.1. Análisis de costos

El costo de la generación de electricidad por medios eólicos y fotovoltaicos puede ser estimado como cualquier otra forma de generación, distribuyendo los costo entre costo de capital y costos de operación, cuando este ya se encuentra en funcionamiento. Aunque para aplicaciones rurales se analiza de forma diferente ya que son unidades mas pequeñas y menos costosas agregando a este hecho de que son para autoconsumo y relativamente de baja potencia. (EEM, 2007).

$$\text{Costo energía} = \text{Costo de Capital} + \text{Costo de operación}$$

Este análisis tendrá como objetivo determinar hasta qué punto es factible el convertir un proyecto eólico en un negocio verdaderamente rentable. Para lo cual se presentarán en manera más detallada los puntos más importantes para el análisis.

7.5.2.2. Costos de capital

El capital necesario para proyectos híbridos tiene un costo que debe ser pagado, ya que debe satisfacer la necesidad de energía eléctrica y al mismo tiempo la utilidad del que lo proporciona. Esta obligación del usuario debe considerarse como su costo por usar el capital.

Se deberá acordar el porcentaje de este pago, el cual deberá tomarse de común acuerdo por medio de negociaciones y a realizarse de manera totalmente legal, por medio de contratos. Esta tasa acordada a pagar por el uso del capital, se comprenderá en el capital tanto externo como interno. (Energía, 2009).

7.5.2.3. Costo de instalación

Los costos de instalación variarán dependiendo de las condiciones y ubicación donde se realizara el proyecto, los cuales deberán ser calculados para un buen análisis. Los principales costos se refieren al costo de arrendamiento del terreno, el cual es considerado como parte del costo de operación, en este caso áreas de cultivo o pastizales de animales que son frecuentemente son los usos dados a las tierras en el área rural. Es común que por el tipo de aplicación rural, esta tierra no tenga un costo real y definido por metro de área utilizado por la instalación de las torres ya que el beneficio que se busca no es un negocio si no cubrir una necesidad básica. Entonces los costos de instalación se refieren únicamente a

- Transporte
- Mano de obra
- Infraestructura
- Equipo
- Baterías
- Accesorios eléctricos y mecánicos de instalación
- Inversor
- Cableado eléctrico
- Interruptor
- Cimentación

7.5.2.4. Costos de operación y mantenimiento

Los costos mayores relacionados con la operación y mantenimiento de los equipos eólicos y fotovoltaicos se mencionan en el costo de capital, siempre existen costos que son independientes a la producción de energía, tales como lo son mantenimientos bajo programa, control de rendimientos, Además existen otros gastos de operación y mantenimiento variables y generalmente se refieren a personal y repuestos, estos con el fin de revisar las actividades diarias y el control, Además existe un responsable del mantenimiento preventivo y correctivo del equipo. Para establecer los costos de operación y mantenimiento por año será necesario realizar un desglose general de los costos. (Aguirre, 1998).

Para los sistemas de áreas rurales los costos de operación y mantenimiento son bastante bajos y relativamente manejables por la propia comunidad, ya que las tecnologías de los equipos fotovoltaicos son en la actualidad prácticamente libre de mantenimiento y los equipos eólicos de baja potencia son muy eficientes y su índice de fallas es muy bajo por la sencillez de su funcionamiento, razón por la cual el mismo usuario (dueño) puede hacerse cargo de los mantenimientos preventivos, mas no así los correctivos. (IEEE, 2003).

7.5.3. Criterios de valuación

Existen diversos criterios para la evaluación de un proyecto eólico y fotovoltaico, el criterio que marca una gran parte las decisiones es el análisis y económico que considera aspectos iniciales desde el diseño hasta la puesta en marcha y operación del sistema por parte de las poblaciones beneficiadas. Varias técnicas aplicadas, como lo son indicadores de costo-beneficio y el valor

actual neto son necesarios para medir con mayor claridad los beneficios directos. Es necesario considerar aspectos legales, políticos y ecológicos para un buen cumplimiento de todas las normas establecidas para el desarrollo sostenible de proyectos de generación eléctrica con este tipo de modelo auto sostenible. (Pacco Ramirez, 2008).

8. HIPÓTESIS

Existen ubicaciones geográficas convenientes en la aldea San Clemente del municipio de Morazán, departamento de El Progreso con suficiente potencial de generación eólico y solar para analizar si es factible económicamente instalar plantas de generación eléctrica de sistemas híbridos.

9. CONTENIDO

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
2. LISTA DESIMBOLOS
3. GLOSARIO
4. RESUMEN
5. INTRODUCCIÓN
6. ANTECEDENTES
7. OBJETIVOS
8. JUSTIFICACIÓN

9. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
 - 9.1. Descripción del problema
 - 9.2. Formulación del problema
 - 9.3. Delimitación del problema

10. ALCANCES

11. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL
 - 11.1. Generación en Guatemala
 - 11.1.1. Sistema Nacional Interconectado (SIN).
 - 11.1.2. Oferta y demanda de energía
 - 11.1.3. Comercialización de energía eléctrica
 - 11.1.4. Regulaciones de distribución y electrificación
 - 11.1.5. Sistema de transporte y redes de distribución eléctrica
 - 11.2. Tipos de generación eléctrica con energías renovables

- 11.2.1. Generación hidráulica
- 11.2.2. Generación biomásica
- 11.2.3. Generación nuclear
- 11.2.4. Generación geotérmica
- 11.2.5. Generación híbrida
- 11.3. Energía eólica
 - 11.3.1. Energía del viento
 - 11.3.2. Mecánica del viento
 - 11.3.3. Fuerza de Coriolis
 - 11.3.4. Vientos geostroficos
 - 11.3.5. Vientos locales
 - 11.3.6. Vientos de montaña
 - 11.3.7. Aspectos topográficos y rugosidad
 - 11.3.8. Equipo de medición
 - 11.3.9. Componentes de un sistema de energía eólica
 - 11.3.10. Aerogeneradores
 - 11.3.11. Tipología de los aerogeneradores
 - 11.3.11.1. Por la posición
 - 11.3.11.2. Por eje horizontal
 - 11.3.11.3. Por la posición respecto al viento
 - 11.3.11.3.1. A barlovento
 - 11.3.11.3.2. A Sotavento
 - 11.3.11.3.3. Por número de palas
- 11.4. Energía solar
 - 11.4.1. Constante solar
 - 11.4.2. Energía solar fotovoltaica
 - 11.4.3. Celdas fotovoltaicas
 - 11.4.4. Celdas de lámina delgada
 - 11.4.5. Sistema fotovoltaico

- 11.4.6. Aplicaciones rurales
- 11.4.7. Radiación
- 11.4.8. Efectos de la irradiancia e insolación
- 11.5. Sistemas híbridos de generación
 - 11.5.1. Sistemas eólicos
 - 11.5.2. Sistemas fotovoltaicos
 - 11.5.3. Pequeños sistemas rurales
 - 11.5.3.1. Ubicación de torres
 - 11.5.3.2. Banco de baterías
 - 11.5.4. Aspectos de instalación y mantenimiento
- 11.6. Factores ambientales y económicos de la generación híbrida en el área rural
 - 11.6.1. Factores ambientales
 - 11.6.1.1. Repercusión en el uso de las tierras
 - 11.6.1.2. Impacto visual
 - 11.6.1.3. Impacto en el medio ambiente
 - 11.6.1.4. Impacto social
 - 11.6.2. Factores económicos
 - 11.6.2.1. Análisis de costos
 - 11.6.2.2. Costos de instalación
 - 11.6.2.3. Costos de mantenimiento
 - 11.6.2.4. Criterios de valuación

12. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

13. CONTENIDO

14. MÉTODOS Y TÉCNICAS

- 14.1. Presentación completa del proyecto a comunidad

- 14.1.1. Permisos y autorizaciones locales para valuación
- 14.1.2. Localización de puntos con potencial energético
- 14.1.3. Levantamiento de mapa energético
- 14.1.4. Investigación documental de información técnica
- 14.2. Recolección de datos e infraestructura
 - 14.2.1. Instalación de medidores
 - 14.2.2. Análisis de carga ínsita
 - 14.2.3. Rotación de mediciones ínsita
 - 14.2.4. Recolección de datos de velocidad de viento y radiación
 - 14.2.5. Recolección de mediciones gubernamentales y privadas
- 14.3. Análisis de datos recolectados
 - 14.3.1. Elaboración de tablas y gráficos
 - 14.3.2. Análisis de resultados
 - 14.3.3. Interpretación de resultados
- 14.4. Análisis económico
 - 14.4.1. Presupuesto de equipo y selección
 - 14.4.2. Presupuesto de instalación de equipo seleccionado
 - 14.4.3. Costos de mantenimiento
 - 14.4.4. Elaboración de una TIR
 - 14.4.5. Viabilidad financiera
- 15. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 16. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES
- 17. RECURSOS NECESARIOS

18. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

19. BIBLIOGRAFÍA

20. APÉNDICE

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

A continuación se detallan las variables mixtas experimentales y los indicadores que se utilizarán en la presente investigación descriptiva que se realizará en 3 fases como se detalla según la siguiente metodología.

Tipo de investigación

- Descriptiva

Variables dependientes

Ubicación de torres

- Indicador: posición, cercanía (altitud, latitud en metros)

Potencial Eólico

- Indicador: velocidad del viento.(caudal en m/s)

Radiación solar

- Indicador: radiación solar (energía en w / m^2)

Tipo de hipótesis

- Descriptiva

Fase 1. Investigación preliminar

La investigación de campo se iniciará a realizando 3 vistas técnicas donde se hará una evaluación de la geografía y sus habitantes comparadas

respecto al análisis de su recurso eólico y solar para su aprovechamiento dentro de las viviendas según su ubicación. Estos datos se resguardarán en tablas que se elaborarán por cada vivienda y su ubicación respecto a los puntos con mayores prestaciones para su aprovechamiento energético en un mapa de la región. Así también se realizara el análisis técnico de carga eléctrica necesaria por vivienda promedio para poder cubrir sus necesidades y las implicaciones que se necesitaran para la instalación de equipos de generación eléctrica de forma híbrida.

Investigación documental

Se realizará una investigación documental preliminar sobre las mediciones e investigaciones realizadas a la fecha sobre el departamento de El Progreso, especialmente de la aldea San Clemente existentes en los registros del MEM y el INSIVUMEH a través de sus estaciones de monitoreo y otros documentos de investigación sobre el potencial eólico y solar en Guatemala ya desarrollados.

Permisos

Se realizará una entrevista personal con las 3 casas que se tomarán como plan piloto para hacer mediciones ínsitas y un análisis de carga/demanda eléctrica según necesidades energéticas para obtener su permiso y aprobación.

Plan de pruebas

Consiste en 5 visitas durante días completos para hacer un levantamiento, del mapa de ubicación de las mejores áreas con potencial energético en la aldea.

Fase 2. Recolección de datos

Se recolectarán datos de acuerdo a las mediciones que se realicen en los sitios seleccionados que llenen todos los requisitos para ser adecuados al proyecto de acuerdo a las mediciones del análisis inicial, realizado para identificar los mejores puntos de acuerdo a la velocidad del viento y la radiación solar.

Variables: las variables a medir son la velocidad del viento y la radiación solar de acuerdo a la posición geográfica.

Método: las mediciones de la radiación solar y de la velocidad del viento serán tomadas con un anemómetro y un piranómetro, por 24 horas continuas, durante 15 días en intervalos de 3 meses en las áreas previamente seleccionadas. Con la misma metodología descrita para tener áreas ya seleccionadas y así iniciar el análisis numérico y la toma de datos en intervalos promediados durante el día y la noche (solo viento); entonces para comparar e integrara con la información existente de las estaciones de control del MEM, INDE e INSIVUMEH y otros estudios ya realizados, para determinar el aprovechamiento del recurso del viento y del sol de la región.

Esta información se maneja en tablas de datos que comprenden información de años anteriores recopilados en las estaciones de monitoreo encargadas del ambiente las cuales están en los archivos del INDE e INSIVUMEH del país tomando en cuenta todas las consideraciones técnicas y cálculos matemáticos para la determinación del potencial y su aprovechamiento.

Instrumentación: tablas de información existentes, toma de datos con anemómetro, piranómetro, termómetro ambiental GPS, cámara de fotos y video, cinta métrica, multímetro y amperímetro de gancho esto para elaborar cálculos matemáticos tablas y gráficos junto con el levantamiento de un mapa de ubicación identificando las áreas seleccionadas con potencial en la región.

Fase 3. Análisis de datos

Con toda la información recolectada se procederá a analizar todos los datos a través de un modelo estadístico descriptivo, determinado la varianza y la desviación estándar para obtener promedios y determinar la cantidad de electricidad que se puede obtener (kw/hr) y la alternancia de uso según su aporte y disponibilidad durante las horas del día, para el almacenamiento de la energía en baterías y su utilización. En el análisis de datos se llenaran las siguientes tablas:

Tabla III. **Velocidad del viento y radiación solar durante el día**

DATOS DE VELOCIDAD Y RADIACION RECOLECTADOS EN LOS SITIOS SELECCIONADOS					
Lugares de medición durante el día de 6.00 a.m. a 6.00 p.m.	COORDENADA longitud, altitud (GPS)	H = 10metros		H= 15 metros	
		Velocidad del viento m/s	Radiación solar w/m ²	Velocidad del viento m/s	Radiación solar w/m ²
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					
Punto 8					

Fuente: elaboracion propia.

Tabla IV. **Velocidad del viento y radiación solar durante la noche**

DATOS DE VELOCIDAD Y RADIACION RECOLECTADOS EN LOS SITIOS SELECCIONADOS					
Lugares de medición durante el día de 6.00 pm a 6.00 am	COORDENADA longitud, altitud (GPS)	H = 10metros		H= 15 metros	
		Velocidad del viento m/s	Radiación solar w/m ²	Velocidad del viento m/s	Radiación solar w/m ²
Punto 1					
Punto 2					
Punto 3					
Punto 4					
Punto 5					
Punto 6					
Punto 7					
Punto 8					

Fuente: elaboracion propia.

Tabla V. **Ubicación de sitios con potenciales eólicos y solares**

TABA DE REGISTRO DE DATOS			
UBICACION	COORDENADA	VELOCIDAD	RADIACION
	longitud, altitud (GPS)	m/s	w/m ²
Punto 1			
Punto 2			
Punto 3			
Punto 4			
Punto 5			
Punto 6			
Punto 7			
Punto 8			

Fuente: elaboracion propia.

Interpretación de resultados

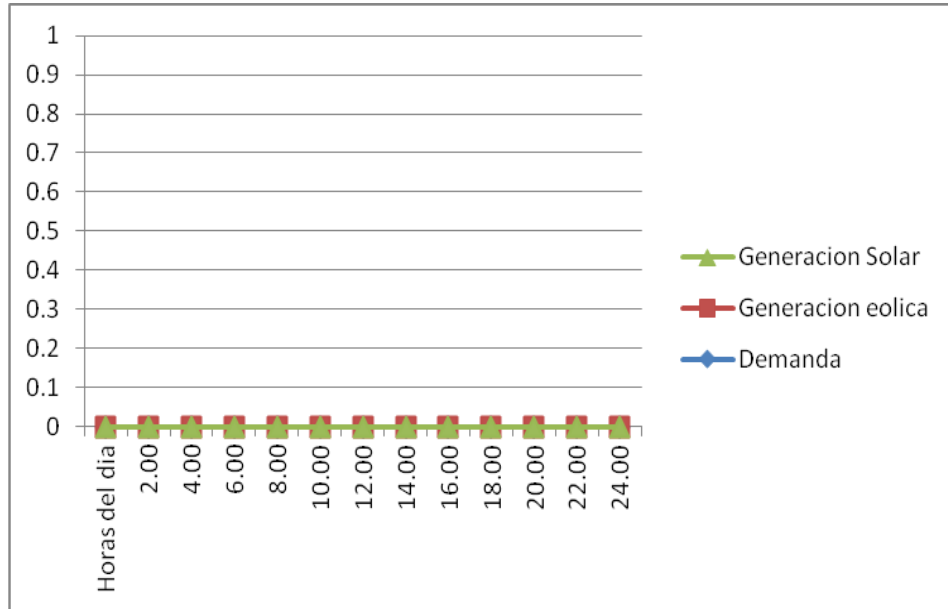
Se usarán para la interpretación de resultados los métodos descriptivos estadísticos como mediana, media y moda realizando un análisis de la varianza, la desviación estándar y el rango de medición de los datos obtenidos para interpretar estos valores en números de utilidad eléctricos (kw/hora). Para luego obtener los valores nominales reales de energía que se pueden generar y aprovechar diariamente para hacer una proyección anual de consumo contra costo y desarrollar una tasa interna de retorno de la inversión inicial.

Tabla VI. **Demanda de energía eléctrica comparada con la energía renovable generada**

DEMANDA CONTRA POTENCIA GENERADA			
	Demanda de energía	Generación eólica	Generación Solar
Horas del día	KW/hora	KW/hora	KW/hora
2.00			
4.00			
6.00			
8.00			
10.00			
12.00			
14.00			
16.00			
18.00			
20.00			
22.00			
24.00			

Fuente: elaboracion propia.

Figura 1. **Generación híbrida - demanda eléctrica local**



Fuente: elaboracion propia.

Tabla VII. **Potencia eléctrica generada comparada contra costo Kw/Hora**

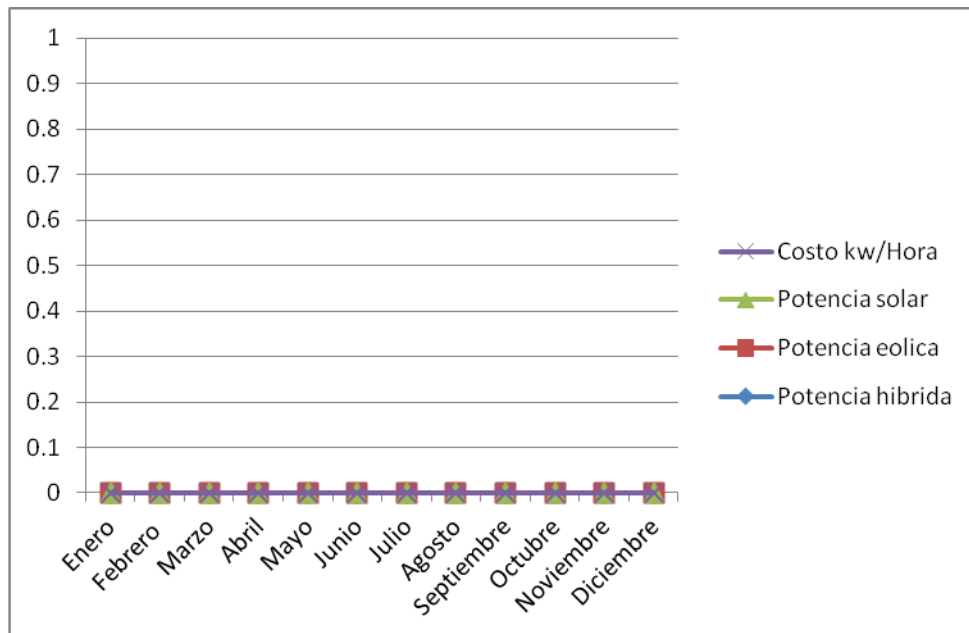
Potencia electrica generada comparada contra el costo promedio de generación hibrida				
Mes	Potencia hibrida Kw/Hora	Potencia eólica Kw/hora	Potencia solar Kw/Hora	Costo kw/Hora
Enero				
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				

Continuación de la tabla VII.

Julio				
Agosto				
Septiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				

Fuente: elaboracion propia.

Figura 2. **Gráfico de potencia generada – costo**



Fuente: elaboracion propia.

Elaboración de TIR

Con los resultados técnicos obtenidos se procederá a realizar una tasa interna de retorno para determinar la viabilidad económica del proyecto utilizando como herramientas diferentes métodos financieros donde se tomarán en cuenta los diferentes diseños posibles y marcas según precios cotizados en el mercado como su instalación completa.

Con esta información y los resultados técnicos obtenidos, se podrá determinar el costo total de la inversión inicial con claridad y se analizarán los mecanismos de financiamiento posibles para la elaboración de una TIR y posterior análisis de viabilidad económica.

Se buscará aquella tasa que hace que el valor actual neto sea igual a cero.

$$VAN = 0 = \sum_{i=1}^n \frac{BN_i}{(1+TIR)^i}$$

Donde:

VAN = valor Actual Neto

BN_i = beneficio Neto del Año i (ahorro en energía eléctrica)

TIR = tasa interna de retorno (renta)

Se buscará conocer el valor cuando el VAN sea igual a 0. Según las cotizaciones de todo el equipo necesario y los gastos de instalación, se determinarán el costo total de la inversión inicial.

Si la TIR es mayor que la tasa de interés bancario o financiamiento, el rendimiento que se obtendría por parte del usuario sería favorable y con el tiempo se espera sea atractivo y viable el proyecto. Si la TIR no es mayor al interés bancario o al costo de oportunidad de la inversión del dinero, entonces no es una buena inversión para el usuario y debería de rechazarse (vecino de la aldea).

TIR > i => realizarlo es factible económicamente

TIR < i => no es factible económicamente

Tabla VIII. **Resumen de información para análisis de TIR**

RESUMEN DEL ANALISIS PARA DETERMINAR LA TIR		
	Análisis Económico	Análisis Técnico
Fase 1	Documentar costos actuales de energía	Determinar necesidades energéticas
	Determinar necesidades en Kw / Hr	Determinar puntos con potencial
Fase 2	Medir consumos de energía en Kw / Hr	Cuantificar necesidades en KW
	Estimar consumo de otras energías	Cuantificar necesidades en Q
Fase 3	Análisis de ahorro energético	Análisis de costo de equipo
	Análisis de costo energético	Análisis de instalación de equipo
ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA TIR		

Fuente: elaboracion propia.

11. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera determinar de acuerdo a la investigación bibliográfica y documental mediante los métodos y técnicas descritos los siguientes resultados

- Conocer el potencial energético del viento de la aldea San Clemente.
- Se Pretende haber conocido el potencial energético solar que posee la zona de la aldea San Clemente.
- Identificar los mejores puntos para la instalación de plantas híbridas de generación eléctrica en la zona para su ubicación .
- Medir y haber conocido la cantidad de energía promedio que puede ser generada y aplicada a los servicios de la comunidad.
- Determinar la viabilidad del proyecto como recurso renovable auto sostenible de acuerdo al costo de su instalación y operación.
- Conocer las ventajas y desventajas del los proyectos híbridos de generación rural.

13. RECURSOS NECESARIOS

Tabla IX. Recursos económicos necesarios para la investigación

Recursos Humanos				
Cantidad	Descripción	Unidad de costo	Costo Unitario Q	Costo Total Q
30	Asesoría	Hora	225.00	6750.00
180	Estudiante	Hora	125.00	22500.00
60	Ayudante	Hora	20.00	1200.00
				30450.00
Materiales e Insumos				
Cantidad	Descripción	Unidad de costo	Costo Unitario Q	Costo Total Q
8	Viáticos y comida	Kilometraje	650.00	5200.00
1	Papelería de oficina	Artículos varios	200.00	200.00
				5400.00
Infraestructura				
Cantidad	Descripción	Unidad de costo	Costo Unitario Q	Costo Total Q
60	Alquiler piranometro	Día	75.00	4500.00
1	Escalera	compra	1200.00	1200.00
1	Otros	varios	300.00	300.00
1	Imprevistos	varios	500.00	500.00
				6500.00
			Gran total Q	42350.00

Fuente: elaboración propia.

Nota: los recursos financieros para la elaboración del proyecto serán propios.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, F. A. (1998). Modelo de sistema energetico descentralizado basado en tecnología fotovoltaica para electrificación de zonas rurales aisladas. Guatemala: USAC.
2. AMM. (5 de 01 de 2013). Administrador del Mercado Mayorista. Recuperado el 15 de 03 de 2013, de <http://www.amm.org.gt>
3. Cabrera, Grupo blas. (28 de 08 de 2005). Energías Renovables. Recuperado el 2013 de 2 de 28, de <http://www.adatum.com>
4. CHAN, E. (2010). Revistaconsumer.es. Recuperado el 28 de 02 de 2013, de <http://www.revistaconsumer.es>
5. CNE, C. N. (22 de 2 de 2013). Comision Nacional de Energía del Gobierno de Guatemala. Recuperado el 15 de 3 de 2013, de <http://www.cnee.gob.gt/>
6. Congreso, d. I. (2003). Ley de incentivos para proyectos de energía renovable. Guatemala: CENADOJ / Congreso de la República.
7. Diaz Castillo, O. M. (2005). Diseño de un sistema fotovoltaico residencial Guatemala: USAC.
8. Donald Fink, B. H. (1996). Manual de ingeniería eléctrica. México: Mac Graw Hill.

9. EEM, E. E. (2007). Energia.com. Recuperado el 02 de 03 de 2013, de <http://www.es.escribenergy.com>
10. Energia, S. N. (2009). sener.go.mx. Recuperado el 02 de 02 de 2013, de <http://www.miliarium.com>
11. Escudero Pascual, A. (1998). Sistema Mixto Eólico Fotovoltaico en vivienda rural basada basada en el concepto de "Permacultura". Esgueva, España: España.
12. Fedeta. (2008). fedeta.org. Recuperado el 01 de 03 de 2013, de <http://www.fedeta.org>
13. García, H. A. (1998). Característca a considerar en el diseño de una central eólica en Guatemala. Guatemala: USAC.
14. Gonzáles, H. V. (2008). Generación distribuida por medio de energías alternas renovables y su influencia en la evolucion del sistema eléctrico secundario de distribucion tradicional. Guatemala: USAC.
15. Harper, G. E. (2003). El abc de instalaciones electricas. México: Limusa.
16. IEEE. (2003). Wind and developing wind countries and solar energy. IEEE , 25-26.
17. INSIVUMEH. (2012). Programa de Meteorología. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Guatemala: Gobierno de Guatemala.

18. Lima, U. d. (2011). infoandina.com. Recuperado el 02 de 01 de 2013, de <http://www.infoandina.org>
19. MEM. (15 de Marzo de 2007). Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Recuperado el 5 de Marzo de 2013, de <http://www.mem.gob.gt>
20. Miliarium. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado el 02 de 03 de 2013, de <http://www.miliaruim.com>
21. Montufar, E. (2007). cyta.com.ar. Argentina: PNUD.
22. OLADE. (2010). olade.org. Recuperado el 28 de 02 de 2013, de <http://www.olade.org>
23. Pacco Ramirez, K. D. (2008). Evaluación Energética Comparativa de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) de baja potencia para la electrificación de una Vivienda Urbana. Tacna , Perú.
24. Pérez, H. (2002). Guia para la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos. Guatemala: USAC.
25. Salazar, M. E. (2004). Guia sobre la utilización de aerogeneradores para producción de energía eléctrica. Guatemala: USAC.
26. Santos Ruano, M. D. (2005). Análisis para la instalación y mantenimiento de aerogeneradores. Guatemala: USAC.

27. Subicaray, V. (2005). Energías Eléctricas y Renovables (cuarta edición ed.). México: Limusa.
28. Yool, S. G. (2011). Protecciones aplicables a proyectos de generación distribuida renovable. Guatemala: USAC.

15. ANEXO

Clasificación de los Vientos

Clasificación de los vientos de acuerdo su velocidad				
Escala de Beaufort	Velocidad	Velocidad	Indicadores	Términos Usados en las Predicciones de NWS
0	0-2	0-1	Calma; el humo sube verticalmente.	Calma
1	02-may	01-mar	La dirección se puede apreciar por la dirección del humo, pero no por medio de veletas.	Ventolina
2	06-dic	04-jul	El viento se siente en el rostro, las hojas se mueven ligeramente; las veletas ordinarias se mueven con el viento.	Ligero
3	13-20	08-dic	Las hojas y las ramas delgadas se mueven constantemente; el viento extiende las banderas ligeras.	Suave
4	21-29	13-18	Levanta polvo y papeles sueltos; las ramas pequeñas se mueven.	Moderado
5	30-39	19-24	Los árboles pequeños empiezan a balancearse; en los lagos pequeños se observan olas con crestas.	Fresco
6	40-50	25-31	Se mueven las ramas grandes; los cables telefónicos silban; es difícil usar sombrillas.	Fuerte
7	51-61	32-38	Arboles enteros se mueven; es incómodo caminar contra el viento.	Muy Fuerte
8	62-74	39-46	Se rompen las ramas de los árboles; generalmente no se puede avanzar.	Ventarrón
9	75-87	47-54	Daños estructurales ligeros.	Ventarrón Fuerte
10	88-101	55-63	Los árboles son arrancados de raíz; ocurren daños estructurales considerables.	Temporal
11	102-116	64-72	Acompañado de daños graves generalizados.	Borrasca
12	117 o más	73 ó más	Acompañado de devastación.	Huracán

Fuente: (Subicaray, 2005).

Modelos propuestos de sistemas híbridos

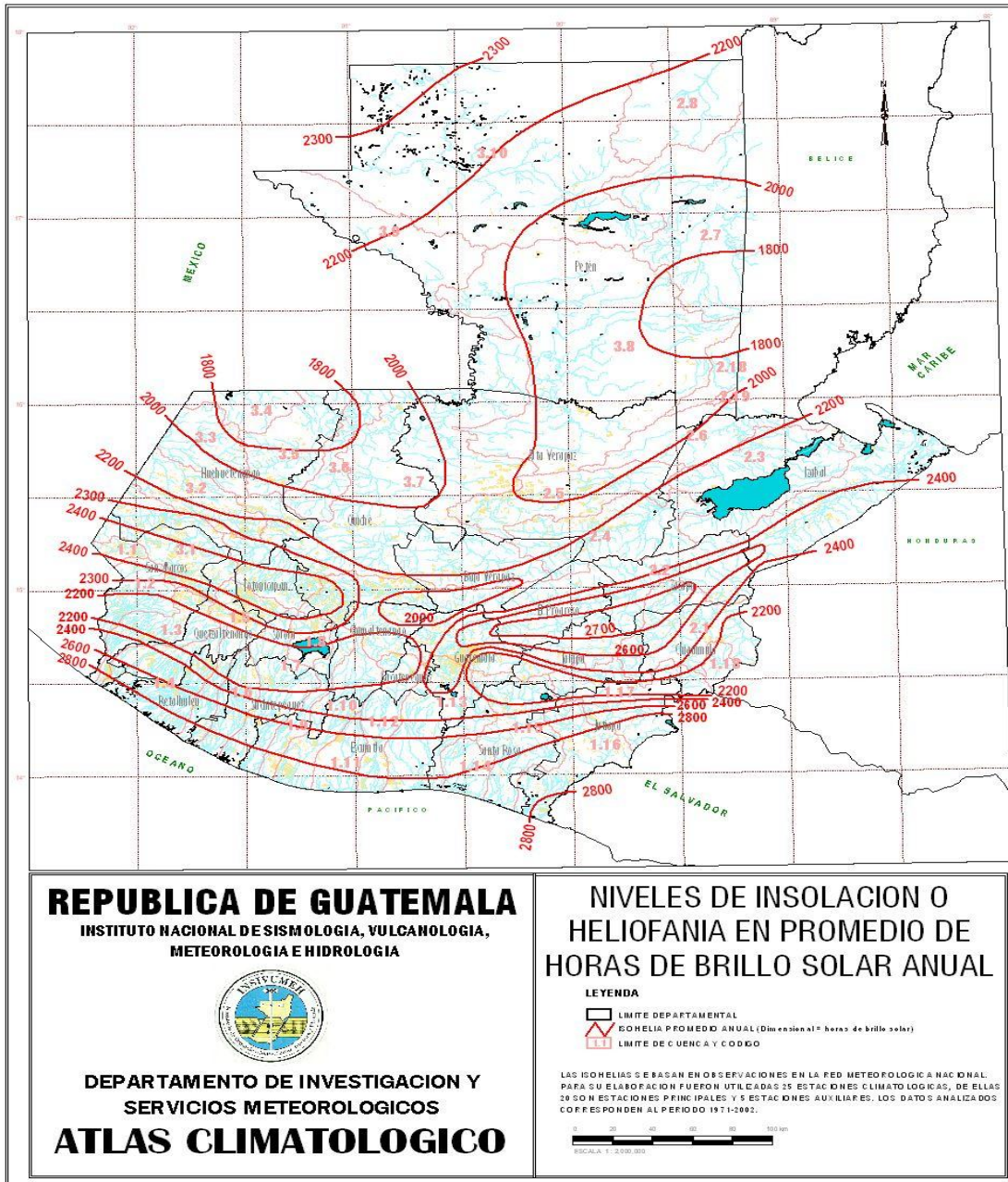


Ejemplos de Sistemas híbridos



Fuente: (Cabrera, Grupo blas, 2005).

Nivel Isoseraunico de Guatemala



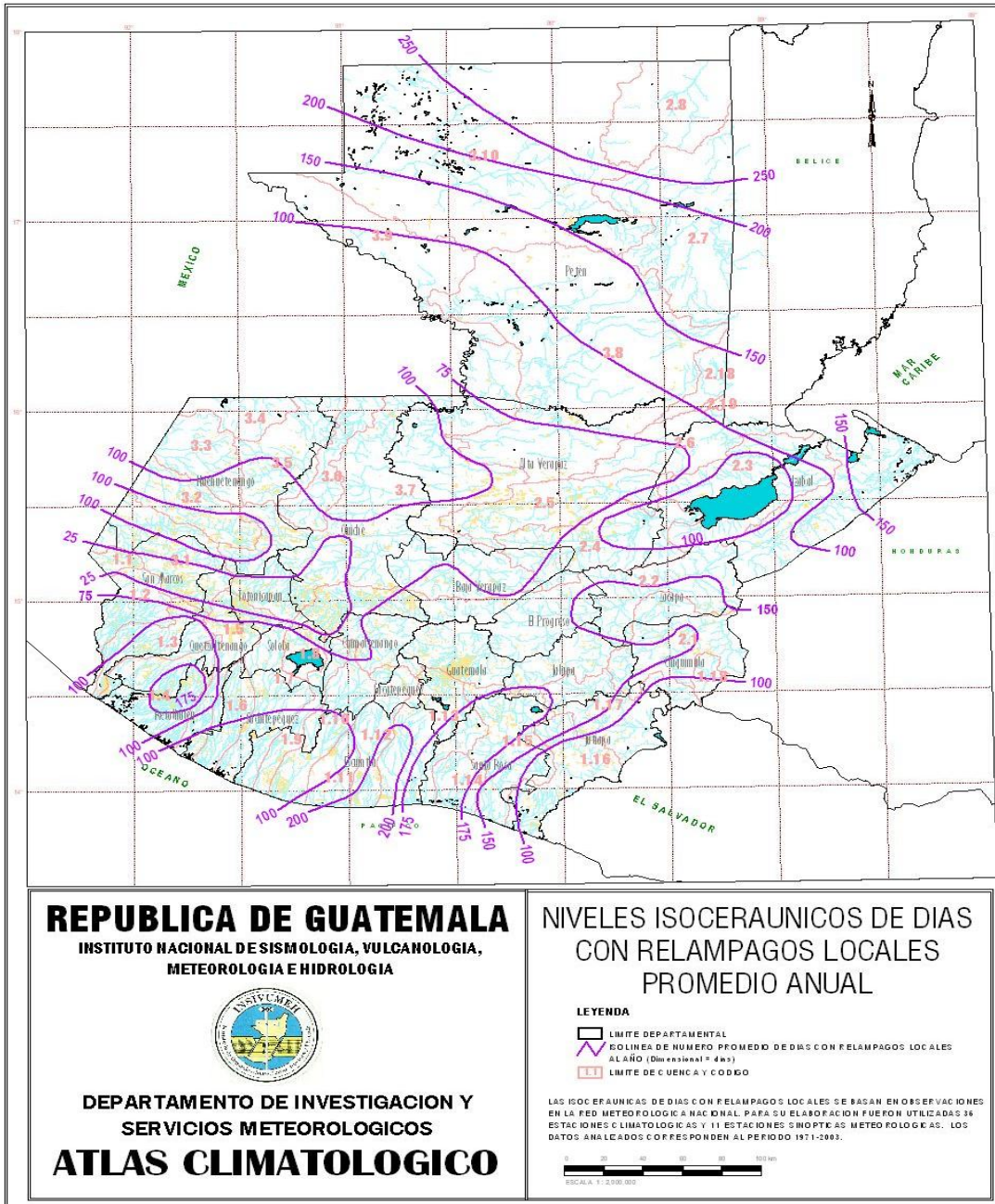
Fuente: (INSIVUMEH, 2012).

Velocidad del viento de Guatemala



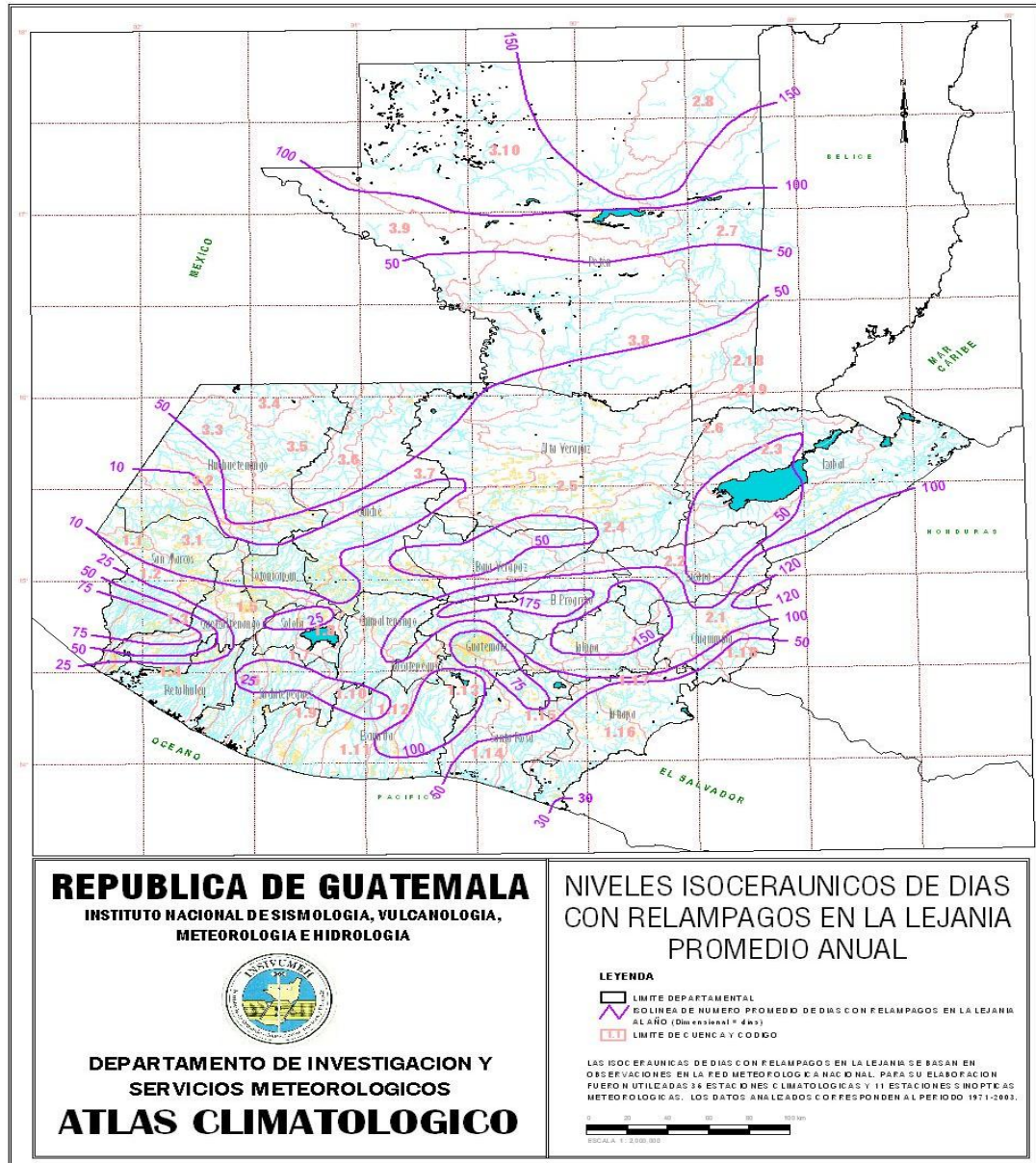
Fuente: (INSIVUMEH, 2012).

Nivel Isoseraunico con días de relámpagos en Guatemala



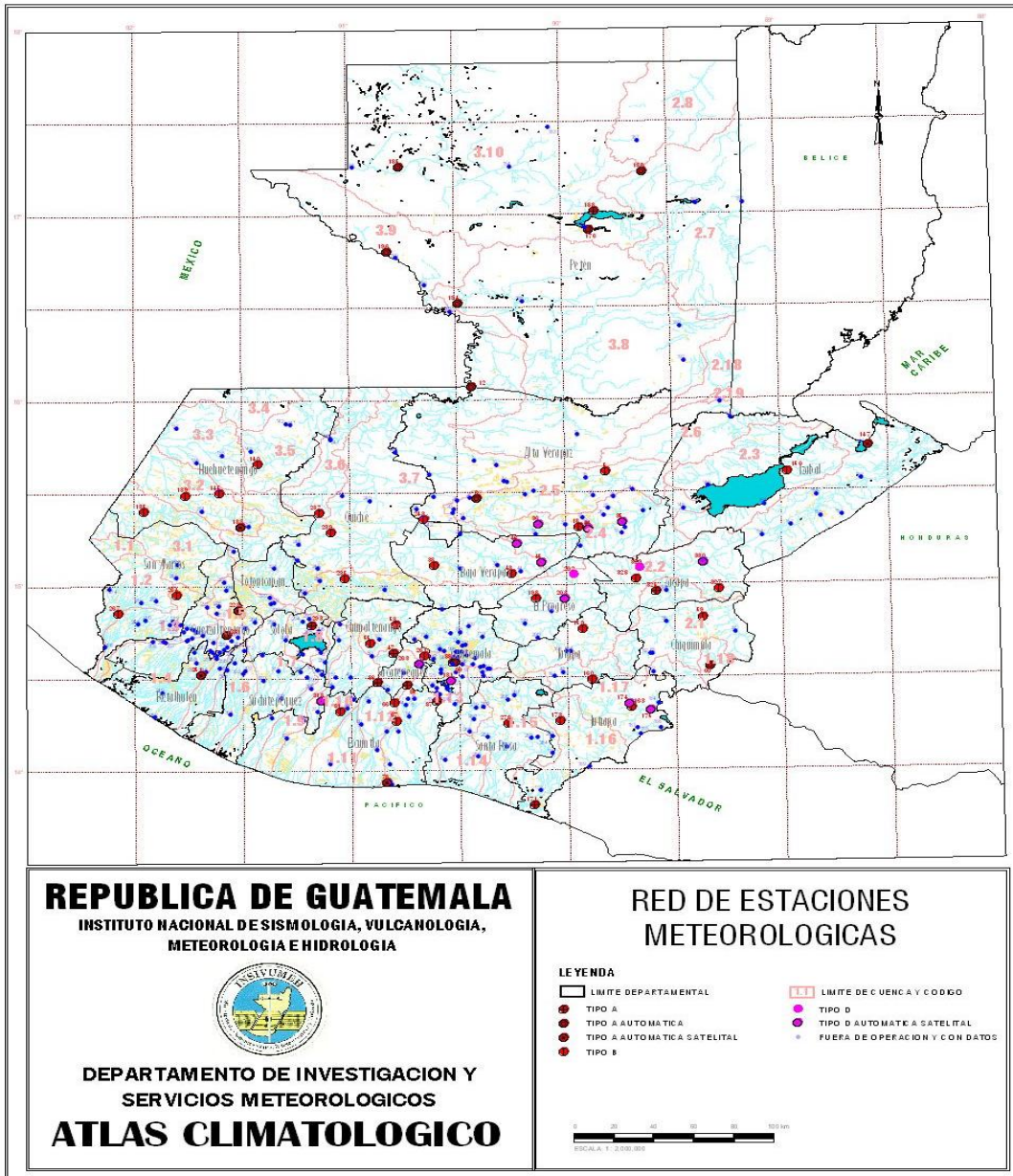
Fuente: (INSIVUMEH, 2012).

Nivel Isoseraunico n relámpagos en la lejanía



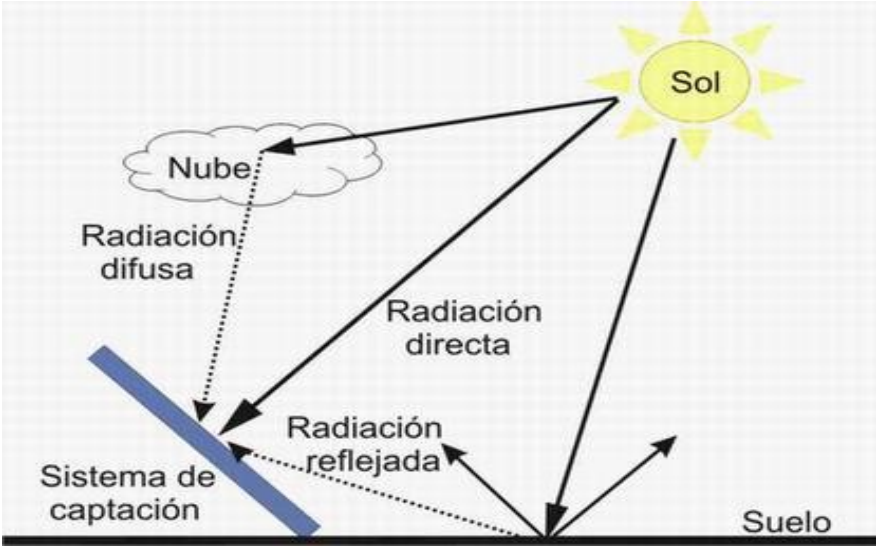
Fuente: (INSIVUMEH, 2012).

Nivel Isoseraunico de Guatemala



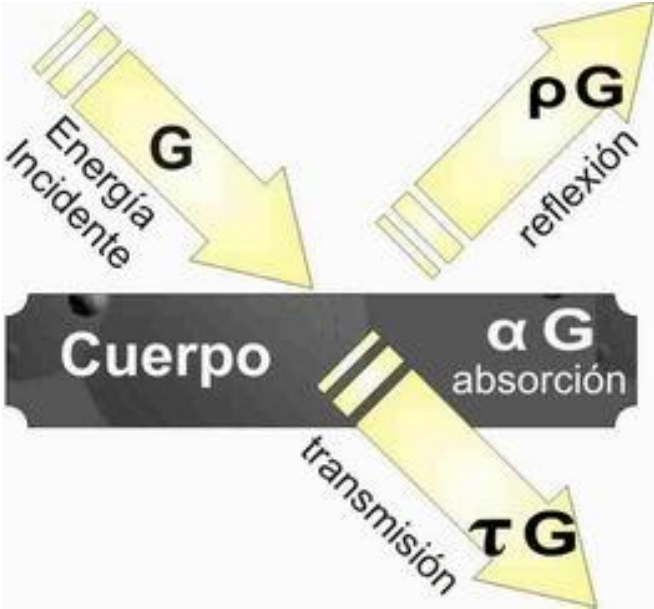
Fuente: (INSIVUMEH, 2012).

Radiación Solar Terrestre



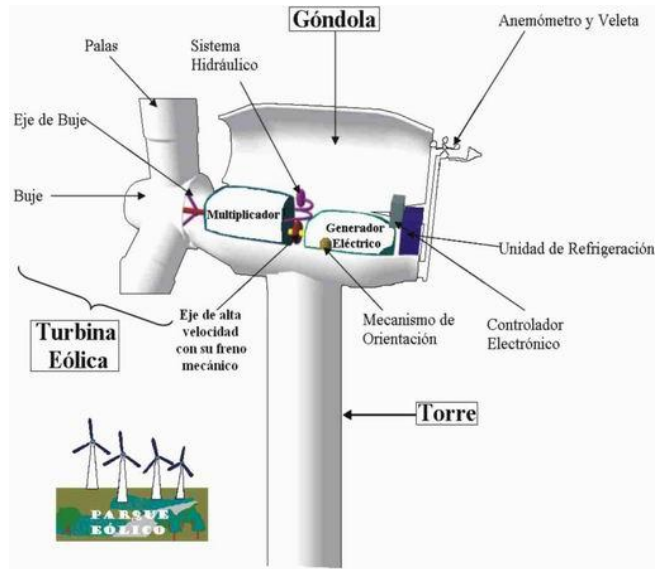
Fuente: (Pacco Ramírez, 2008).

Balance energético sobre un cuerpo



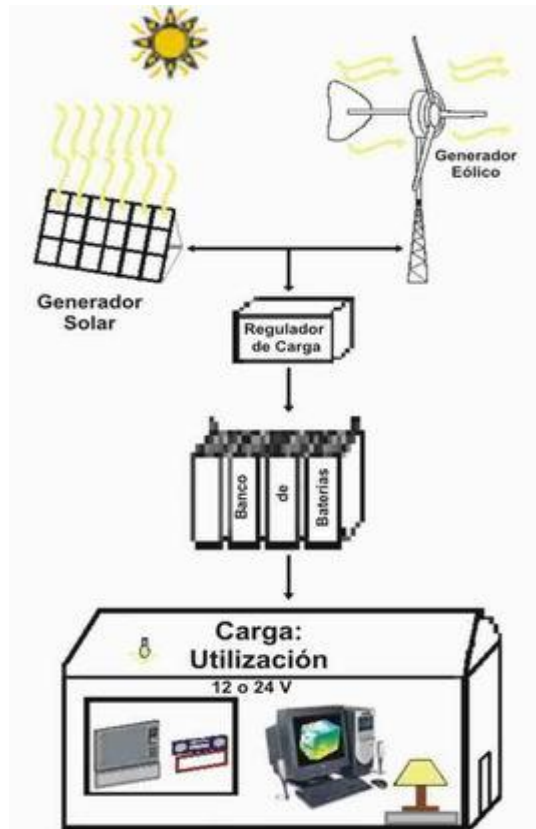
Fuente: (Pacco Ramírez, 2008).

Esquema de un aerogenerador



Fuente: (Pacco Ramírez, 2008).

Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico



Fuente: (Energía, 2009).