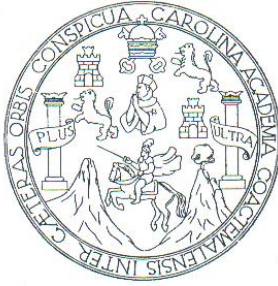


Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Energía y Ambiente

## **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**

**Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma**

Guatemala, octubre de 2010



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

## **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**

Trabajo de graduación

Presentada al comité de la Maestría en Energía y Ambiente por

**Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma**

Al conferírsele el título de

**Maestro en Energía y Ambiente**

Guatemala, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	Ing. Murphy OlympoPaíz Recinos
VOCAL I	Inga. Blenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo OrtizHerincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS  
SEGÚN EL ACTA CORRESPONDIENTE**

PRESIDENTE	Ing. Murphy OlympoPaíz Recinos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Hugo LeonelRamírez Ortiz
ASESOR DE TESIS	Ing. Carlos Hugo Rodas Marotta

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado

IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA  
DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la  
Facultad de Ingeniería, con fecha 24 de julio de 2010

Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma


**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Energía y Ambiente del trabajo de tesis de graduación titulado **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Carlos Aníbal Chicojay Coloma**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Director  
Escuela de Estudios/de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Energía y Ambiente, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Carlos Aníbal Chicojay Coloma**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hugo Leonel Ramírez Ortiz". The signature is stylized and somewhat cursive.

Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz  
Coordinador  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.


**Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
de Postgrado

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Carlos Anibal Chicojay Coloma**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, Octubre de 2010.

/la.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. D. Postgrado 004.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente titulado: **IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE GUATEMALA DEBIDO A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Carlos Aníbal Chicojay Coloma** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2010

/la



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Mi esposa** Consuelo Morales de Chicojay, por apoyarme en todos los momentos difíciles y proyectos de mi vida.

**Mis hijos**, Aníbal Estuardo y Carlos Javier, su incansable búsqueda de la excelencia me enorgullece y me animan a alcanzar mis metas.

**Mis padres** Prof. Víctor Chicojay y María del Carmen Coloma, por haberme inculcado principios y valores para tener éxito en las actividades que emprendo. Que Dios los tenga en descanso eterno.

**La Facultad de Ingeniería** por facilitarme los estudios en la Escuela de Postgrado y permitirme el honor de pertenecer a su plantilla de personal docente.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala**, a través de la Dirección General de Docencia, por proporcionarme la ayuda económica para llevar a cabo los estudios de la Maestría en Energía y Ambiente.

**Los Ingenieros**, Fernando Álvarez, Luis Barquín, Carlos Aguilar e Ignacio de la Paz, compañeros de promoción, por haber compartido todas las vivencias como estudiantes de postgrado.

**Todos los profesores** de la Maestría en Energía y Ambiente, por sus enseñanzas recibidas, y por brindarme su amistad.

**El ingeniero** Rubén Hernández Chang, por su apoyo incondicional, su amistad y compartir sus conocimientos sobre energía eólica.

**El Ingeniero** Otto Rolando Ruíz Balcárcel, por su amistad y colaboración para llevar a cabo esta investigación.

**El ingeniero** Hugo Rodas Marotta, por su amistad y la asesoría en el presente trabajo de investigación.

**El Departamento de Energías Renovables**, de la Dirección General del Ministerio de Energía y Minas por brindarme la oportunidad de desarrollar la presente investigación.

## INDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>No. Pag.</b>
Resumen	V
Índice de ilustraciones	VII
Lista de símbolos	XI
Glosario	XIII
Introducción	XV
Objetivos	XVII
Antecedentes	XIX
Marco teórico	XXI
Metodología	XXIII
<b>Capítulo 1. Política energética</b>	<b>1</b>
1.1 Política energética de Guatemala	1
1.1.1 La generación de energía eléctrica en Guatemala	3
1.1.2 La matriz energética en la generación de energía eléctrica	5
1.1.3 Acciones para el cambio de matriz existente	6
1.2 Utilización de la energía eólica en la generación de energía	9
1.2.1 Componentes de un sistema de generación eólica	12
1.2.1.1 Partes principales de un aerogenerador	12
1.2.1.2 Parques eólicos	14
1.2.2 Generación eólica en Guatemala	17

1.2.3	Mapa eólico de Guatemala	19
1.3	Parámetros necesarios para el cálculo de la generación eólica	21
1.4	Estimaciones iniciales de capacidad instalada y energía generada	22
<b>Capítulo 2.</b>	<b>Proyecto de torres de medición eólica en Guatemala</b>	<b>25</b>
2.1	Descripción del proyecto	25
2.2	Objetivos del proyecto	25
2.3	Período de tiempo de las mediciones	26
2.4	Torres de medición eólica	26
2.5	Sitios de medición eólica	28
2.6	Resultados de las mediciones del viento	30
2.6.1	Chispán, Estanzuela, Zacapa	30
2.6.2	El Rodeo, San Marcos	32
2.6.3	Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá	34
2.6.4	Alotenango, Sacatepéquez	35
2.6.5	Samororo, Mataquescuintla, Jalapa	37
2.6.6	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	38
2.6.7	Salamar, Ciudad Pedro de Alvarado, Moyuta, Jutiapa	40
2.6.8	Guayabales, Chiquimulilla, Santa Rosa	41
2.6.9	La Brea, Quezada, Jutiapa	43
2.6.10	San Gil, Morales, Izabal	44
2.6.11	La Concha, Villa Canales, Guatemala	45
2.6.12	Chacaj, Nentón, Huehuetenango	47

2.6.13 Monte María, Alotenango, Sacatepéquez	48
2.7 Resumen de mediciones por años y sitios	50
<b>Capítulo 3. Cálculo del potencial eólico y el impacto en la matriz energética.</b>	<b>53</b>
3.1 Estimación del potencial eólico de los emplazamientos	53
3.2 Matriz energética del sistema nacional interconectado 2009	57
3.3 Matriz energética con el componente de la energía eólica	58
3.4 Puntos de interés en especial en Guatemala	62
<b>Capítulo 4. Cálculo de emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> y Sumideros equivalentes</b>	<b>63</b>
4.1 Efectos del CO <sub>2</sub> en el cambio climático	63
4.1.1 ¿Qué hacer?	64
4.2 Cálculo de emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la generación eólica	65
4.3 Cálculo de un sumidero equivalente a la emisión de CO <sub>2</sub> evitado	66
4.3.1 Definición de sumidero	
4.3.2 Tipos de sumideros	66
4.4 Cálculo de barriles equivalentes de petróleo ahorrados	71
Conclusiones	73
Recomendaciones	74
Bibliografía	75
Anexo	77



## RESUMEN

La fluctuación constante del precio de los combustibles fósiles, la dependencia que el país tiene de dichos combustibles para la generación de energía y la creciente contaminación que incide directamente en el efecto invernadero y como consecuencia en el cambio climático hace necesario que la matriz energética actual se vea con el componente de energía eólica.

De acuerdo a la composición de la matriz energética actual y las proyectadas a los años 2012 y 2022, (Guía del inversionista 2010, Ministerio de Energía y Minas) no se observa que exista el componente de energía eólica.

De los lugares en donde se cuenta con datos del comportamiento del viento, no todos son susceptibles de generar electricidad para interconectarse a la red, ya que para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se utilice pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*".

En consecuencia, los lugares con potencial eólico para los propósitos de esta investigación son: Municipio de San Marcos, San Marcos, Alotenango en Sacatepéquez, Matacaescuintla en Jutiapa, Municipio de Jutiapa en Jutiapa, San Raymundo en Guatemala, La concha, en Villa Canales, Guatemala, Comapa Jutiapa y Villa Canales Guatemala.

Las mediciones del comportamiento del viento de los sitios utilizada para las estimaciones de la Energía Anual Generada, fueron obtenidas de la

Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, estas mediciones corresponden a un año de medición. Para Comapa y Buenos Aires únicamente se cuentan con la información limitada; para otros sitios, como el Proyecto Eólico Ecomina, localizado en Villa Canales, Guatemala y el proyecto eólico localizado en San Vicente Pacaya, Escuintla, no se pudo conseguir información, pero se tiene conocimiento que cuentan con estudios de factibilidad.

Si bien es cierto, que el generar energía eléctrica en los lugares con potencial eólico sería del 2.5% del total de la matriz energética, no es muy significativo.

Sin embargo se evitarían 112.7 Toneladas anuales de CO<sub>2</sub>, tomando como referencia la producción de energía en base a carbón fósil.

La generación evitada de CO<sub>2</sub> sería equivalente a tener un sumidero de carbono, de 3.9hectáreas de plantaciones de hule, especie nativa de Guatemala.



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>FIGURAS</b>	<b>No. Pag.</b>
1.1 Costos de generación por tecnología	6
1.2 Parque de generación actual	6
1.3 Curva de carga del sistema eléctrico	7
1.4 Cambio de matriz energética mediano y largo plazo	9
1.5 Aerogenerador de 12 Kv. del siglo XIX	10
1.6 Aerogenerador de La Cour	11
1.7 Aerogeneradores modernos en Gran Canaria, España	12
1.8 Partes principales de un aerogenerador de eje horizontal	14
1.9 Principio de funcionamiento de un generador eólico	16
1.10 Distribución y conexión de un parque eólico	17
1.11 Mapa indicativo de potencial eólico en Guatemala	20
2.1 Componentes de una torre de medición eólica	27
2.2 Sitios de medición eólica	28
2.3 Resumen de mediciones eólicas, Estanzuela, Zacapa	31
2.4 Torre de medición eólica instalada en Estanzuela, Zacapa	32
2.5 Resumen de mediciones eólicas, San Marcos, San Marcos	33
2.6 Resumen de mediciones eólicas, Santa Catarina Ixtahuacán	35
2.7 Resumen de mediciones eólicas, Alotenango, Sacatepéquez	36
2.8 Resumen de mediciones eólicas, Matacaescuintla, Jalapa	38
2.9 Resumen de mediciones eólicas, Jutiapa, Jutiapa	39

2.10	Resumen de mediciones eólicas, Moyuta, Jutiapa	41
2.11	Resumen de mediciones eólicas, Chiquimulilla, Santa Rosa	42
2.12	Resumen de mediciones eólicas, Quesada, Jutiapa	43
2.13	Resumen de mediciones eólicas, San Gil Morales, Izabal	45
2.14	Resumen de mediciones eólicas, Villa Canales, Guatemala	46
2.15	Resumen de mediciones eólicas, Nentón, Huehuetenango	48
2.16	Resumen de mediciones eólicas, Monte Maria, Alotenango	49
3.1	Curva de potencia, turbina Vestas V52-850 Kw.	54
3.2	Composición del parque generador 2009	58
3.3	Composición del parque generador 2009 con energía eólica	60
4.1	Efectos del CO <sub>2</sub> en el cambio climático	63

## **TABLAS**

## **No. Pag.**

2.1	Localización de las torres de medición eólica	29
2.2	Resumen de mediciones eólicas, Chispan, Estanzuela, Zacapa	31
2.3	Resumen de mediciones eólicas, El Rodeo, San Marcos	33
2.4	Resumen de mediciones eólicas, Santa Catarina Ixtahuacan	34
2.5	Resumen de mediciones eólicas, Alotenango, Sacatepequez	36
2.6	Resumen de mediciones eólicas, Matacaescuintla, Jalapa	37
2.7	Resumen de mediciones eólicas, Durazno, Jutiapa, Jutiapa	39
2.8	Resumen de mediciones eólicas, Moyuta, Jutiapa	40
2.9	Resumen de mediciones eólicas, Chiquimulilla, Santa Rosa	42
2.10	Resumen de mediciones eólicas, La Brea, Quesada, Jutiapa	43

2.11	Resumen de mediciones eólicas, San Gil, Morales, Izabal	44
2.12	Resumen de mediciones eólicas, Villa Canales, Guatemala	46
2.13	Resumen de mediciones eólicas, Nentón, Huehuetenango	47
2.14	Resumen de mediciones eólicas, Alotenango, Sacatepéquez	49
2.15	Velocidad promedio del viento año 2006	50
2.16	Velocidad promedio del viento año 2007	50
2.17	Velocidad promedio del viento año 2008	51
2.18	Velocidad promedio del viento año 2009	51
2.19	Velocidad promedio del viento año 2010	51
3.1	Potencia, aerogenerador Vestas V52-850 Kv.	54
3.2	Energía anual generada AEG	56
3.3	Potencia y energía en los sitios con potencial eólico	57
3.4	Capacidad instalada SIN 2009 por tecnología	58
3.5	Capacidad instalada SIN 2009	58
3.6	Capacidad instalada SIN 2009 por tecnología con energía eólica	59
3.7	Capacidad instalada SIN 2009 con energía eólica	59
3.8	Ventajas del uso de energía renovables	61
4.1	Producción anual estimada GWh	65
4.2	Valores para carbono fijado en cultivo de hule	70



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Porcentaje
°C	Grados centígrados
AEG	Energía anual generada
AMM	Administrador del mercado mayorista
BEP	Barriles equivalentes de petróleo
BTU	Unidad de energía inglesa. British Thermal Unit
CNEE	Comisión Nacional de energía Eléctrica
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DAP	Diámetro a la altura del pecho
GW	Gigavatios
GWh	Gigavatios hora
Km/h	Kilómetros por hora
KW	Kilovatios
KWh	Kilovatios hora
m	Metro
m/s	Metros por segundo

msnm	Metros sobre el nivel del mar
MEM	Ministerio de energía y minas
MW	Megavatios
MWh	Megavatios hora
N	Coordenada geográfica norte
PET	Plan de expansión del sistema de transporte
SIEPAC	Sistema de interconexión eléctrica de los países de América central.
SIN	Sistema interconectado nacional
Ton	Toneladas métricas
W	Coordenada geográfica oeste

## GLOSARIO

Aerogenerador	Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.
Anemómetro	Instrumento que mide la velocidad del viento.
Convertidor	Elemento que transforma la energía de corriente continua a corriente alterna o viceversa.
Eolo eléctrica	Generación de electricidad utilizando la energía del viento.
Góndola	Estructura que contiene en su interior el generador de corriente y otros accesorios.
Matriz energética	Es la distribución donde se analiza la procedencia, la importancia y el uso de las diferentes fuentes energéticas de un país o región.
Parque eólico	Instalación eólica que comprende varios aerogeneradores y una infraestructura eléctrica de medida y control correspondiente.
Rotor	Elemento que comprende las palas y el buje del aerogenerador.
Sumidero de carbono	Depósito natural o artificial de carbono
Torre	Construcción cilíndrica o prismática más alta que ancha aislada o sobresaliendo de una edificación. En un aerogenerador la góndola se instala en el soporte
Veleta	Instrumento que indica la dirección del viento.





## INTRODUCCIÓN

La matriz energética de Guatemala, actualmente no muestra ningún componente de energía eólica. Según el Ministerio de Energía y Minas, MEM, la matriz energética está compuesta por 46.06% generación térmica basada en el petróleo, 0.2% generación basada en el diesel, 37.62% generación hidroeléctrica, 2.94% geotérmica, y 13.18% basada en carbón. Según la matriz energética proyectada para el año 2012 en energías renovables, solo aparece incrementada la generación hidroeléctrica a 47.49%, y para el año 2022 a 58.1%. ¿Cuál será el impacto en la matriz energética de Guatemala, si se aprovecha el potencial eólico? ¿Cuál serían las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas? Los objetivos a alcanzar son: De acuerdo al potencial eólico en Guatemala, determinar la capacidad de generación. Calcular el impacto que la generación eólica tendrá en la matriz energética. Determinar la generación de CO<sub>2</sub> evitado al usar energía eólica.

La fluctuación constante en el precio del petróleo, lo que encarece el precio de la electricidad, y el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual incide directamente en el cambio climático, hace necesario que Guatemala inicie la generación eléctrica usando cada vez menos los combustibles de origen fósil. Aunado esto, a la dependencia que nuestro país tiene del petróleo.

La hipótesis planteada es:

***“Al aprovechar la capacidad de generación de energía eólica, se tendrá un impacto significativo en la matriz energética”***



## OBJETIVOS

### General:

Calcular el impacto en la matriz energética de Guatemala por la generación de energía eólica.

### Específicos

- 1) Encontrar la capacidad de generación eólica que se pueda aportar al Sistema Nacional Interconectado.
- 2) Establecer el aporte a la matriz energética de Guatemala por la generación de energía eólica
- 3) Determinar el impacto en la disminución en la emisión de CO<sub>2</sub> al usar energía eólica en la producción de energía eléctrica.
- 4) Encontrar el sumidero de carbono equivalente a las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>.
- 5) Calcular los barriles equivalentes de petróleo que el país se ahorraría al utilizar la energía eólica en la generación eléctrica.

Para llevar a cabo la investigación, se desarrollan 4 capítulos. Capítulo introductorio que contiene un resumen de la política energética e introducción a la energía eólica en Guatemala. Un segundo capítulo que contiene el Proyecto de torres de medición eólica en Guatemala del Ministerio de Energía y Minas en donde se describirán los lugares actuales en donde existen torres de medición eólica. Un tercer capítulo con el cálculo del potencial eólico y el impacto en la matriz energética por la generación de energía eólica, y finalmente un cuarto capítulo con el cálculo emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> y sumideros equivalentes.



## ANTECEDENTES

El mundo vive actualmente una de las peores crisis globales de los últimos años, donde cuatro pilares principales son causa y efecto simultáneamente. El deterioro del medio ambiente, la escasez de alimentos, el debilitamiento de la economía más fuerte e influyente del mundo, el encarecimiento del petróleo y el consecuente encarecimiento del costo de la vida ha pegado con fuerza en todo el mundo, y Guatemala no es la excepción.

Actualmente en Guatemala la generación de energía eléctrica depende en un 46% de refinados del petróleo y el país importa el 100% de su demanda de productos refinados, lo que acentúa su vulnerabilidad en esta materia. Se estima que para el año 2020, la mitad de la producción mundial de hidrocarburos provendrá de países que actualmente se consideran zonas de alto riesgo. Adicionalmente, la crisis ambiental también ha exacerbado la influencia de fenómenos de la naturaleza. Por lo tanto la seguridad energética dependerá cada vez más de factores externos como crisis políticas y conflictos internacionales, fenómenos de la naturaleza, capacidad de expansión de refinación e infraestructura petrolera mundial, especulación financiera. Estos factores inciden en la fluctuación del precio internacional del petróleo y sus derivados. En Guatemala, país que no produce petróleo para su consumo energético, la problemática se agrava ya que necesita importar la totalidad de los hidrocarburos que utiliza. Esto conlleva a una erogación bastante fuerte de divisas para la compra de dicho producto. La situación puede cambiar si se logra aprovechar sus recursos renovables para la generación de energía. El país cuenta con un potencial elevado de estos recursos, que aún se utilizan a pequeña escala. En el contexto del desarrollo sostenible deben de escogerse medidas que no reduzcan el capital ambiental social actual a niveles inaceptables ni comprometan el de las futuras generaciones. Esta afirmación se

discutió en el Protocolo de Kioto de 1997, que busca mecanismos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Actualmente la matriz energética está compuesta por 46.06% generación térmica basada en el petróleo, 0.2% generación basada en el diesel, 37.62% generación hidroeléctrica, 2.94% geotérmica, y 13.18% basada en carbón, proyectada para el 2012 se considera que el 4.31% generación térmica basada en el petróleo, 47.49% en generación hidroeléctrica , 2.14% geotérmica, y 46.06% basada en carbón y proyectada para el año 2022 se considera, 0.62% generación térmica basada en el petróleo, 58.01% de generación hidráulica, 4.20% geotérmica, y 37.17% generación térmica basada en carbón, gas natural y biomasa (Guía 2010 Subsector eléctrico y energías renovables. MEM)

Como puede verse no existe dentro de la proyección el uso de energía eólica, a pesar de que existe la ley de incentivos de energías renovables. Si se aprovecha el potencial eólico, conectado al sistema eléctrico nacional, se tendrá un impacto en la matriz energética y una disminución de CO<sub>2</sub>.

## MARCO TEORICO

La energía eólica se considera una forma indirecta de la energía solar, puesto que el sol, al calentar las masas de aire, produce un incremento de la presión atmosférica, y con ello, el desplazamiento de estas masas a zonas de menor presión. Así se da origen a los vientos como un resultado de este movimiento, cuya energía cinética puede transformarse en energía útil, para bombeo de agua, generación de energía eléctrica, entre otros.

En los inicios de 1900, los molinos de viento se utilizaron típicamente para la molienda y bombeo de agua. La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad nace en el invierno de 1887 cuando Charles F. Brush (1849-1929), uno de los fundadores de la industria eléctrica americana, construye la primera turbina eólica para generación de electricidad. Este aerogenerador primitivo contaba con un generador de tan sólo 12 kW, tenía un rotor de 17 metros de diámetro con 144 palas fabricadas en madera de cedro. Cabe indicar que en 1890 la revista Scientific American publicaba la descripción del aerogenerador de turbina eólica de Brush. En Dinamarca en 1942, la compañía F.L. Smidth construyó diversos aerogeneradores bi y tripala con torres construidas en cemento o mediante elementos estructurales. Todas estas máquinas generaban corriente alterna. Si bien los sistemas de generación eoloeléctrica presentaron un desarrollo importante durante las primeras décadas del siglo XX, la primera y segunda guerras mundiales retuvieron su crecimiento y es hasta la década de 1970 con la primer crisis mundial del petrolero, que se reactiva su expansión. A partir de la primera crisis del petróleo de 1973 muchos países dirigieron sus esfuerzos hacia el desarrollo de sistemas de fuentes renovables. Muchos países despertaron su interés en la energía eólica. En Dinamarca, las compañías de energía dirigieron inmediatamente su

atención a la construcción de grandes aerogeneradores, al igual que sus homólogos de Alemania, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU.

Es importante también indicar que por ahora la penetración de la generación Eolo eléctrica ha generado pocos problemas en las redes eléctricas robustas de Europa y Estados Unidos. Un caso exitoso de alta penetración ocurre en la parte occidental de Dinamarca donde los operadores de la red son capaces de redirigir la electricidad generada por las centrales eólicas hacia otros países interconectados como Alemania, Países Bajos y Suecia.

El Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, tiene actualmente en varios puntos del territorio nacional torres de medición que miden el comportamiento del viento entre ellas, la velocidad y dirección del viento, así como, la temperatura y en algunos sitios la radiación solar. La información generada en estas torres se estudiaa profundidad y de allí se determinan los puntos de mayor potencial eólico factibles de utilizarse para generación eléctrica, y con ello, determinar el impacto que esta generación puede tener en la matriz energética y sus consecuentes beneficios.



## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó la información disponible de mediciones de viento con que cuenta el departamento de Energías Renovables del Ministerio de Energía y Minas. Dicha información fue capturada en los distintos puntos del país, utilizando para el efecto, en cada sitio torres de medición las cuales generalmente tenían una altura de 30 mts. en la que se encontraban instalados equipos que medían a cada 10 minutos el comportamiento del viento, velocidad, dirección y temperatura, cuyos datos fueron almacenados en un registrador conocido como “datalogger”.

Las torres eran marca NRG, las cuales tenían instalado el siguiente equipo:

1. Medidores de velocidad, debidamente calibrados ubicados uno a 30 y el otro a 20 metros de altura,
2. Medidor de dirección de viento, ubicado a 30 metros de altura.
3. Un sensor de temperatura.
4. Un registrador (datalogger)
5. Un pararrayo y dos varillas de tierra.
6. Torre tubular de 30 con sus tensores y anclas.

### Desglose de equipos de medición instalados y programación

Componente	Modelo	Número de Ítem	Número de Serie	Altura de Instalación (m)
DataLogger	Symphonie	3147	30907667	1.5
Anemómetros	NRG #40C	1900	ver tabla	30 y 20
Veletas	NRG #200P	1904	-	30
Sensor de Temperatura	NRG #110S	1906	-	5

### Parámetros de sensores calibrados instalados

Componente	Modelo	Número de Serie	Pendiente (slope)	Offset	Altura de Instalación (m)
Anemómetros	NRG #40C	25017	0.765	0.35	30
		25016	0.765	0.35	20

### Veletas instaladas

Componente	Modelo	Número de Serie	Pendiente (slope)	Offset	Altura de Instalación (m)
Veletas	NRG #200P	-	0.351	0	30

### Información de sitio programada en datalogger

Componente	Modelo	Fecha y Hora	Número de Sitio	Unidades	Altitud	Latitud y Longitud	Password de Datos
DataLogger	Symphonie	12/01/2006 00:00 a.m. -6 GMT	0001	SI	197m	N 15° 01.513' W 89° 33.779'	No

### Programación de canales en datalogger

Canal	Tipo	Leyenda	Factor de Escala	Offset	Unidades	Altura	No. de Serie
1	Frecuencia	NRG #40C Anem. m/s	0.765	0.35	m/s	30m	25017
2	Frecuencia	NRG #40C Anem. m/s	0.765	0.35	m/s	20m	25016
3	Frecuencia						
4							
5							
6							
7	Analógico	#200P wind Vane	0.351	0	Grado	30m	-
8	Analógico						
9	Analógico	#110S Temp. °C	0.138	-86.383	°C	5m	-
10	Analógico						
11							
12							

Tomando en consideración que la matriz energética está compuesta de generación hidráulica, térmica basada en combustibles de origen fósil, y

geotérmica, de la información disponible se realizó el análisis de los sitios con potencial eólico, para estimar los MW teóricos de potencia y generación asociada y de allí su incidencia en la matriz energética. Con los datos de generación, se calculó el sumidero de carbono equivalente a las emisiones evitadas, así como los barriles equivalentes de petróleo.

## **CAPÍTULO 1. POLÍTICA ENERGÉTICA**

### **1.1 Política energética de Guatemala**

La política energética de Guatemala, persigue convertir al país en productor y exportador de energía para los países vecinos, atracción de inversión, generación de empleo, y cambiar la matriz energética de generación eléctrica para reducir en el mediano y largo plazo el impacto de la variación de los precios del crudo en el mercado internacional.

El objetivo fundamental de la política energética de Guatemala es asegurar que la población tenga acceso a suministros de energía suficientes, costeables y confiables, en un marco de desarrollo sostenible y en términos y condiciones que respalden el crecimiento económico y la prosperidad de todos los guatemaltecos y guatemaltecas.

Dentro de los objetivos específicos de la política energética, están:

1. Evitar la crisis mejorando las condiciones del futuro eléctrico del país, respetando las políticas ambientales, sociales, económicas y de transparencia, generadas por el Gobierno.
2. Cubrir el crecimiento de la demanda de energía actual y futura, de manera que el sector eléctrico sea confiable y cuente con las reservas técnicas que debe tener, evitando posibles futuros racionamientos de energía eléctrica.
3. Fortalecer el sistema de transmisión de energía eléctrica, de manera que sea más confiable, y tenga la capacidad para transmitir la nueva

generación de energía que se requiere para cubrir la demanda creciente del país.

4. Modificar la matriz energética del país, a fin de hacerla más eficiente, al reducir su dependencia del petróleo e impulsar las fuentes renovables.

La política que el Ministerio de Energía y Minas, para el sector eléctrico, en el marco de la política del Gobierno del Presidente Álvaro Colom, ha desarrollado para alcanzar los objetivos propuestos, se enmarca en los lineamientos que se presentan a continuación.

1. Aumentar la oferta energética del país a precios competitivos.
2. Diversificar la matriz energética del país priorizando las energías renovables.
3. Promover la competencia e inversiones.
4. Promover el desarrollo sostenible y sustentable a partir de los recursos renovables y no renovables del país.
5. Incrementar la eficiencia energética.
6. Impulsar la integración energética.

A fin de desarrollar esta política, se implementarán los siguientes programas, del lado de la oferta y la demanda:

1. Plan de ahorro y eficiencia.
2. Focalización del subsidio.
3. Cambio de la matriz energética.
4. Interconexión centroamericana SIEPAC.
5. Plan de expansión para el sistema de transporte.
6. Interconexión Guatemala-México.

La política energética definida en enero de 2008, incorporó el cambio de la Matriz Energética, esto es, independizar a Guatemala del petróleo para la generación de energía eléctrica, buscando que la mayor parte de la energía sea generada con base en recursos renovables. Lo que implica el fortalecimiento del Sistema Nacional de Transmisión de Energía, de manera que en un futuro cercano, se pueda evitar las fallas que se generan en el suministro de energía debido a la sobrecarga actual de este sistema y a la falta de redundancia del mismo.

También se incluye dentro de la política energética el Plan de Expansión del Sistema de Transporte (PET), el cual está a cargo de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Este plan incluye cinco anillos denominados Hidráulico, Metropolitano, Atlántico, Occidente y Oriente, los cuales garantizarán entre otras cosas, el aumento de la capacidad de producción de energía y el suministro con seguridad y calidad.

### **1.1.1 La generación de energía eléctrica en Guatemala**

Actualmente más del 46% de la energía que se consume en Guatemala, se basa en una de las formas de tecnología existentes más caras. Se consume cincuenta veces más energía que hace un siglo y este aumento en la demanda

plantea nuevos problemas y exige nuevas reflexiones. El Consejo Mundial de la Energía estima que en los próximos veinte años, el consumo energético mundial aumentará en aproximadamente el 50%. Asimismo, en 1952 las Naciones Unidas declaró que los países en desarrollo tienen “el derecho de disponer libremente de sus recursos naturales” y que deben ser utilizados para realizar los planes de desarrollo económico de acuerdo a sus intereses nacionales. De esa cuenta las decisiones que Guatemala tome en materia de política energética tendrán una influencia significativa en cuanto a: seguridad y calidad del abastecimiento, eficiencia en la producción y utilización de la energía, explotación racional de los recursos naturales, cobertura de requerimientos en cantidad y calidad, precios bajos o constantes y de una apertura regional, entre otros; pero finalmente sobre el proceso de desarrollo sostenible del país. Es importante recordar, que anterior a la promulgación de la Ley General de Electricidad (LGE) en el año de 1996, funcionaban como Agentes del Mercado, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), que atendía especialmente la electrificación del área rural departamental y la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) que cubría el área central. La estructura del sub-sector eléctrico de ese entonces, estaba conformada por una estructura de mercado tipo monopolístico, con una integración vertical en la generación, transmisión y distribución de la electricidad, y la participación de 17 Empresas Eléctricas Municipales (EEMs) de distribución. A principios de 1990 el sub-sector experimenta una de las etapas críticas reflejándose en cortes en el suministro de electricidad por más de ocho horas diarias, como resultado de la falta de nuevos proyectos de generación y una demanda creciente. Esto forzó a las autoridades a eliminar los subsidios y a cuestionar el modelo utilizado y se inicia un proceso de reforma que definió una estrategia de modernización del sub-sector, cuyo fundamento principal fue la promulgación de la LGE que entró en vigencia en noviembre de 1996. Dicha modernización incluyó, además del establecimiento de un nuevo marco legal y regulatorio para la industria eléctrica,

la desmonopolización de la misma, la reestructuración de las dos empresas eléctricas estatales, la privatización del segmento de la distribución y de una parte importante de la generación.

Esta nueva ley regula las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, y define como autoridad máxima y ente rector del sector energía del país al Ministerio de Energía y Minas (MEM). Asimismo, dicha Ley, ordena la creación del ente regulador, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) como un órgano técnico del MEM, y establece que el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) estará a cargo de un ente privado, sin fines de lucro, encargado del despacho energético.

### **1.1.2 La matriz energética en la generación de energía eléctrica de Guatemala**

La matriz energética de Guatemala es hidrotérmica, con un 57% de generación térmica y un 43% de generación hidroeléctrica, En las gráficas a continuación se puede observar claramente cómo la generación térmica depende primordialmente de bunker (motores reciprocantes, cogeneración y turbinas diesel) lo que convierte el parque generador de Guatemala muy susceptible de los incrementos al precio del petróleo.



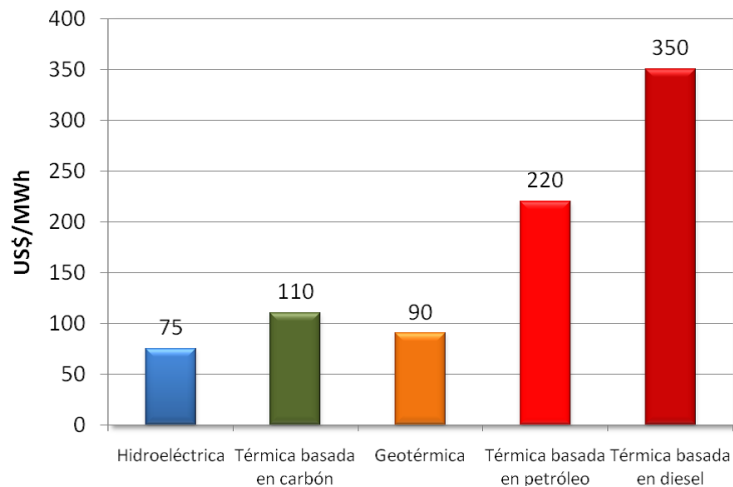


Fig.1.1 Fuente: Política energética MEM 2010. Costos de generación por tecnología.

El parque actual de generación de energía eléctrica de Guatemala se muestra en la siguiente ilustración

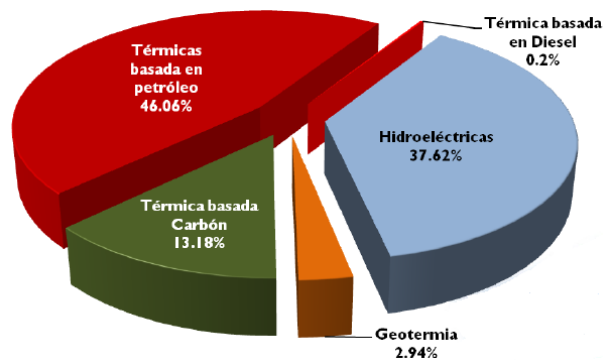


Fig.1.2 Fuente: Política energética MEM 2010. Parque de generación actual.

### 1.1.3 Acciones para el cambio de matriz existente.

El cambio de la matriz energética promueve cambiar de una vez por todas, el parque generador energético que actualmente depende de los derivados del petróleo. Guatemala como muchos países a nivel regional y

latinoamericano, ha sufrido el impacto de los precios del petróleo en el mercado internacional, repercutiendo en los costos de la energía.

La modificación de la composición actual del parque generador de Guatemala, tiene una visión de corto, mediano y largo plazo, que permitirá que en el año 2022, contar con el 58% de la generación eléctrica del país a base del recurso hídrico, de manera que se reduzca el precio de la tarifa eléctrica, tanto para usuarios residenciales como industriales.

Para alcanzar este objetivo, se debe modificar la curva de carga actual del sistema de generación, de manera que se vuelva más eficiente y económica.

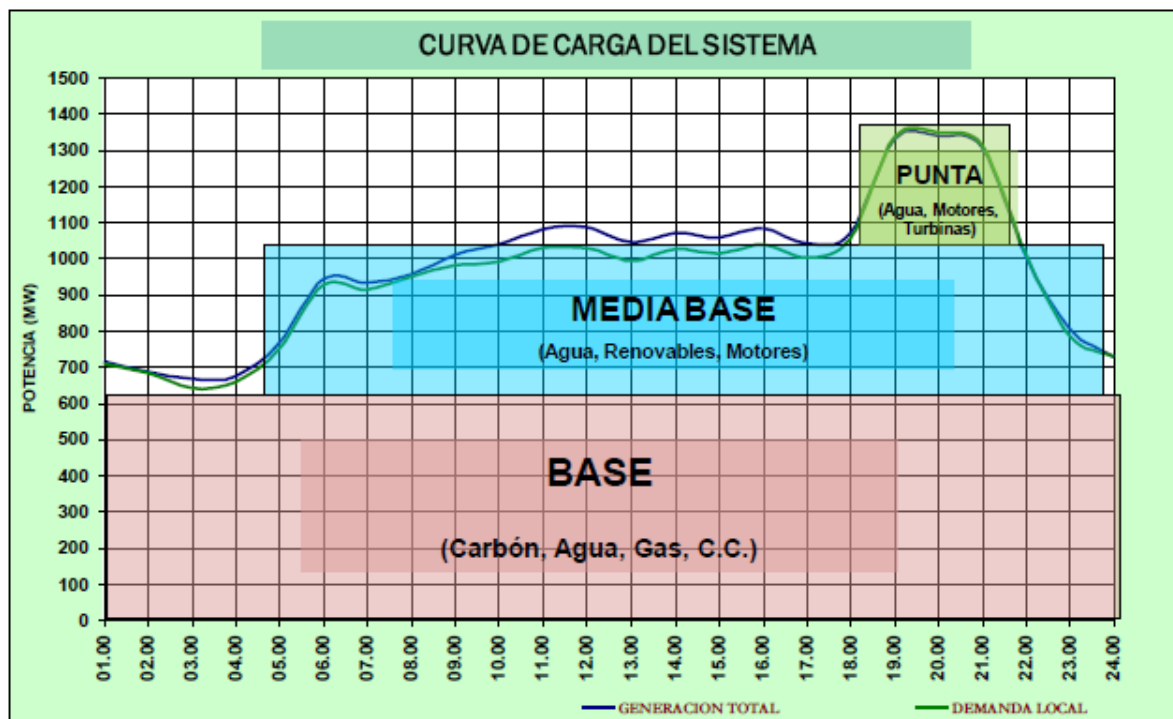


Fig.1.3 Fuente: Política energética MEM 2010. Curva de carga del sistema eléctrico.

Esta curva de carga, posible con una matriz energética eficiente, permitirá no sólo alcanzar mejores costos marginales del sistema nacional, sino también, disminuir el impacto ambiental de la generación de energía.

El Plan de Expansión del Parque Generador, permitirá incrementar el parque generador actual y el mismo se basa en los siguientes lineamientos: Repotenciación de centrales hidroeléctricas y geotérmicas existentes. Promoción de nuevos proyectos de generación térmica, con base en carbón. Promoción de nuevos proyectos de generación hidroeléctrica, con particular énfasis en grandes proyectos del INDE y pequeños proyectos con participación comunitaria. Implementación de proyectos de generación para comunidades aisladas del Sistema Nacional Interconectado (SNI), mediante el uso de energía solar y/o otros renovables.

Apoyar la ejecución de proyectos hidroeléctricos binacionales con México y El Salvador.

Promover y apoyar el desarrollo geotérmico en el país con potencial de 1000 MW.

Convertir generación de alto costo por bunker a generación por carbón, donde sea factible.

De esta forma, se podrá alcanzar el cambio de la matriz energética objetivo de mediano y largo plazo, para el 2012 y 2022.

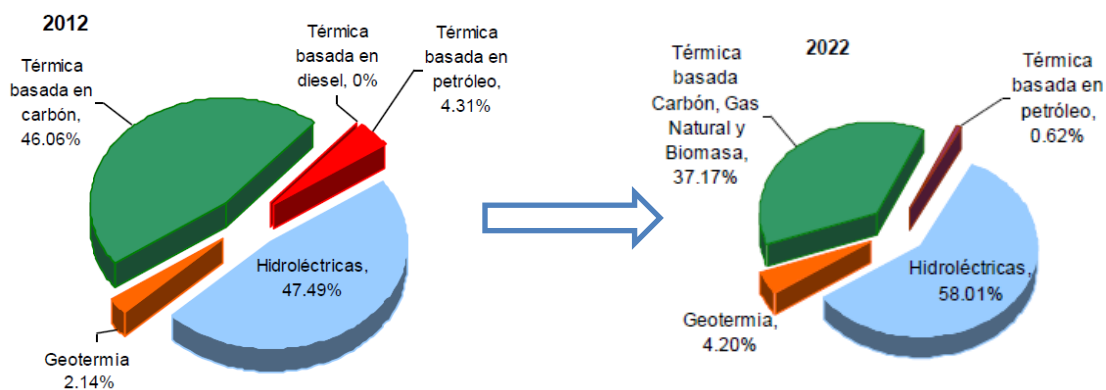


Fig. 1.4. Fuente: Guía del inversionista 2010. MEM. Cambio de matriz energética mediano y largo plazo.

## 1.2 Utilización de la energía eólica en la generación de energía

La utilización de la energía eólica no es una tecnología nueva, se basa en el redescubrimiento de una larga tradición de sistemas eólicos empíricos. No es posible establecer con toda claridad el desarrollo histórico de los "sistemas de conversión de energía eólica", sólo es posible identificar los importantes papeles que desempeña la energía eólica en el pasado: Embarcaciones de vela, los griegos construyeron maquinas que funcionaban con el viento. Algunos historiadores sugieren que hace más de 3,000 años la fuerza del viento se empleaba en Egipto cerca de Alejandría para la molienda de granos. Sin embargo, la información más fehaciente de la utilización de la energía eólica en la molienda apunta a Persia en la frontera Afgana en el año 640 D.C.

Otras fuentes históricas, fechadas unos cuantos años más tarde, muestran que los chinos también utilizaban la energía del viento en ruedas con paletas y eje vertical para irrigar o drenar sus campos de arroz.

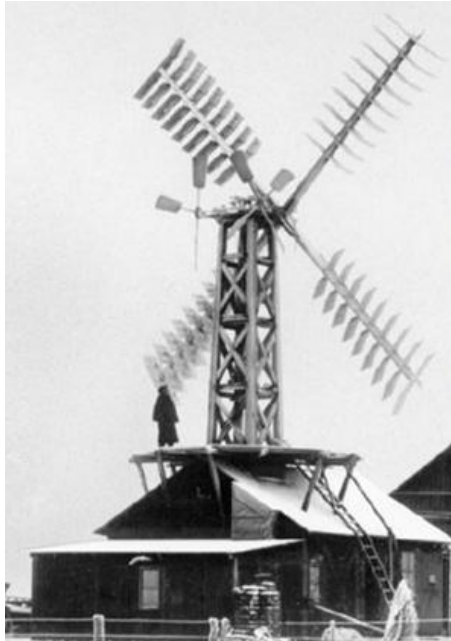
En los inicios de 1900, los molinos de viento se utilizaron típicamente para la molienda y bombeo de agua. La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad nace en el invierno de 1887 cuando Charles F. Brush

(1849-1929), uno de los fundadores de la industria eléctrica americana, construye la primera turbina eólica para generación de electricidad. Este aerogenerador primitivo contaba con un generador de tan sólo 12 kW, tenía un rotor de 17 metros de diámetro con 144 palas fabricadas en madera de cedro. Cabe indicar que en 1890 la revista Scientific American publicaba la descripción del aerogenerador de turbina eólica de Brush.



*Fig. 1.5 Fuente: Curso energía eólica OLADE Capev 7 2010  
Aerogenerador de 12 Kw. creado a finales del siglo XIX*

El meteorólogo Danés Poul la Cour (1846-1908) fue el iniciador de los modernos aerogeneradores y fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica al construir su propio túnel de viento para realizar experimentos. El avance tecnológico de la Cour inició la electrificación rural de Dinamarca y creó el primer mercado de generación eléctrica a partir del viento.



*Fig. 1.6 Fuente: Curso energía eólica OLADE Capev 7 2010. Aerogenerador de La Cour.*

Se puede decir que en la década de 1980 nace la industria eoloeléctrica moderna, cuando las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores comerciales se instalaron en Palm Spring, California en Estados Unidos. Al comparar aquellas primeras instalaciones con las actuales centrales eoloeléctricas, la capacidad, la eficacia e impacto visual han mejorado enormemente. La mejora más dramática es el aumento en la capacidad de generación eléctrica y el incremento en la eficiencia de la conversión de la energía eólica. Los primeros aerogeneradores presentaban capacidades de apenas 25 kilowatts hace veinticinco años y actualmente la gama comercial es típicamente a partir de 750 hasta 2,500 kilowatts (2.5 MW). Así, cada turbina de 2 MW de capacidad produce más energía eléctrica que 200 de las máquinas que se comercializaban a finales de la década de 1980.



Fig. 1.7 Fuente: Tomas fotográficas propias, noviembre 2009. Aerogeneradores modernos en Gran Canaria, España.

## 1.2.1 Componentes de un sistema de generación de energía eólica

### 1.2.1.1 Partes principales de un aerogenerador

Un aerogenerador consta de los siguientes componentes:

**1. Rotor:** incluye las palas y el buje.

Cuando el viento incide sobre las palas, éste provoca su movimiento rotacional, que se transfiere al buje. Éste, a su vez, está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador, transmitiéndole la potencia del movimiento.

**2. Góndola:** estructura que contiene en su interior el eje de baja velocidad mencionado, el multiplicador, el eje de alta velocidad, el generador de corriente, la unidad de refrigeración, el controlador electrónico, el freno, el anemómetro y la veleta. El movimiento del eje de baja velocidad es amplificado mediante la caja de engranajes, o multiplicador, que aumenta la velocidad de rotación del rotor unas 50 veces, para que la velocidad de rotación que recibe el generador, a través del correspondiente eje, sea de unas 1.500 r. p. m.

En el generador se convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Su potencia varía en función de las características técnicas del aerogenerador en cuestión.

Los demás componentes de la góndola son complementarios, pero imprescindibles. Así, la unidad de refrigeración contiene un ventilador utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua. El controlador electrónico es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción (por ejemplo, un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador) detiene automáticamente el aerogenerador y envía una señal al ordenador del operario encargado de su mantenimiento.

Por su parte, el anemómetro y la veleta son instrumentos de medición del viento, necesarios para la monitorización y orientación que lleva a cabo el controlador del aerogenerador. De este modo, el controlador electrónico conecta el aerogenerador cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s, y lo parará cuando esta velocidad exceda los 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

El eje de alta velocidad está equipado de un freno de disco mecánico de emergencia, utilizado en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.



**3. Torre:** soporta la góndola y el rotor, y se sustenta en el terreno a través de una zapata de cimentación. La altura de la torre está relacionada con la cantidad de energía generada por el aerogenerador.

Posteriormente un transformador aumentará la tensión eléctrica para ser transportada a la red eléctrica.



*Fig. 1.8 Fuente: Elaboración propia. Partes principales de un aerogenerador de eje horizontal*

### **1.2.1.2 Parques eólicos**

Un proyecto eólico puede estar constituido de uno o dos aerogeneradores, si se trata de pequeños sistemas, o de varias decenas de

ellos, para sistemas de gran potencia. Los primeros suelen corresponder a centrales de generación aislada, con aprovechamiento directo de la electricidad o bien con almacenamiento de energía en baterías, pero utilizando generalmente aerogeneradores de pequeña potencia. En el segundo caso, que viene siendo más habitual, el aprovechamiento del recurso eólico se realiza mediante conexión a red eléctrica de las aeroturbinas de gran potencia, constituyendo lo que se denomina parque eólico.

En el diseño de un parque eólico los aerogeneradores deben ser colocados de manera óptima y en función de diversas variables, como la ubicación de infraestructura existente (accesos y red eléctrica), la viabilidad económica, los impactos paisajístico-ambientales (tratados en posteriores epígrafes) y la producción de energía. En efecto, las turbinas han de situarse a cierta distancia las unas de las otras, en términos de aerodinámica, puesto que el paso del viento por las palas de un aerogenerador genera turbulencias en el mismo.

Como norma general, y en la medida que la topografía lo permita, la separación entre aerogeneradores en un parque eólico es de 5 a 9 diámetros de rotor en la dirección de los vientos dominantes, y de 3 a 5 diámetros de rotor en la dirección perpendicular a los vientos dominantes.

Los aerogeneradores más ofertados en el mercado actual constan de tres palas, pudiendo ser también de una o de dos. Esta mayor presencia se explica porque son más equilibrados, al mismo tiempo que generan una menor contaminación acústica. De este modo, la selección técnica de un aerogenerador suele basarse en la relación existente entre la potencia eléctrica que produce y el tamaño de sus componentes, rotor y torre.

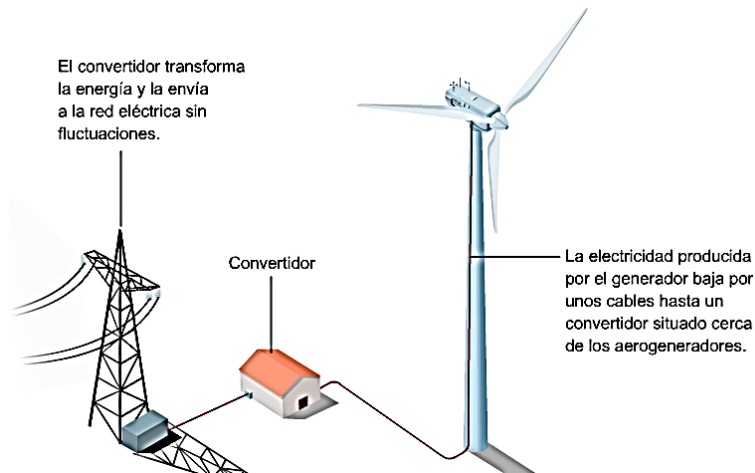


Fig. 1.9 Fuente: [www.consumer.es](http://www.consumer.es). Principio de funcionamiento de un generador eólico.

La conexión de parques eólicos en sistemas de distribución y transmisión tendrá un efecto local sobre niveles de voltaje y flujos de potencia reactiva. “Las granjas eólicas se deben situar donde la tecnología puede funcionar de manera eficiente y los impactos ambientales y acumulativos pueden resolverse satisfactoriamente”

Un parque o granja eólica es un grupo de turbinas de viento en la misma ubicación que se utiliza para la producción de energía eléctrica. Turbinas individuales están interconectadas con un mismo voltaje medio (generalmente 34,5 Kv.) de la red de distribución. En una subestación, el flujo eléctrico de media tensión se incrementa en tensión con un transformador para la conexión con el sistema de transmisión de alto voltaje.

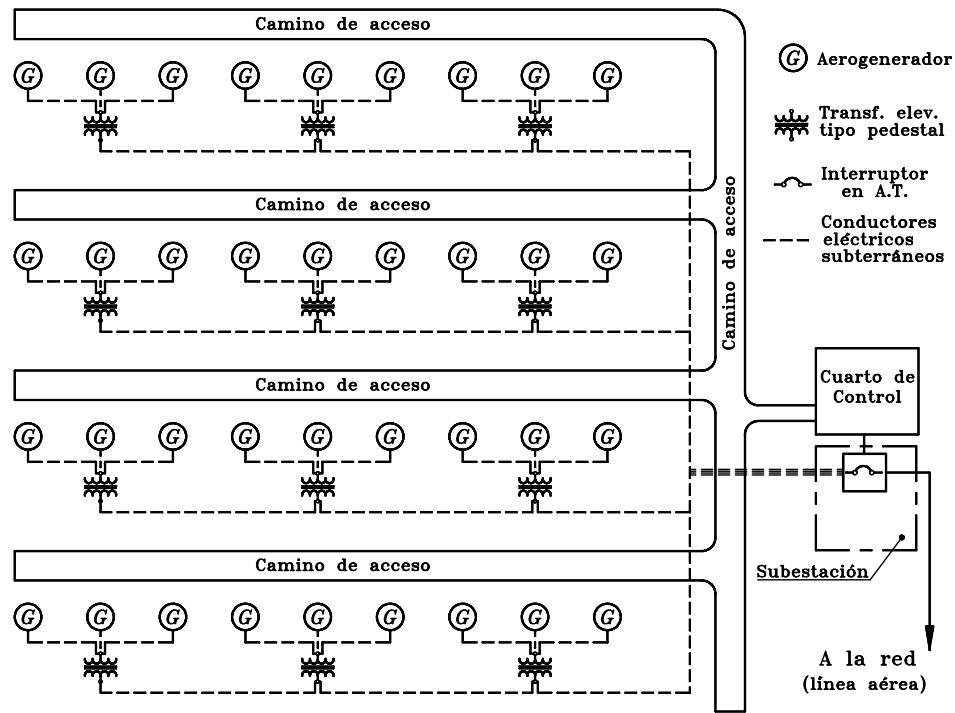


Fig. 1.10 Fuente: Olade. Curso Capev 7 2010. Distribución y conexión de un parque eólico

### 1.2.2 Generación eólica en Guatemala.

Guatemala se encuentra afectado por el patrón de los vientos alisios. Estos vientos se desplazan con una componente del Norte (puede ser NNE, NE, NNO) durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero; debido a un sistema de alta presión que se ubica por esa época en la parte central de los Estados Unidos Norteamericanos y la prolongación de este sistema de presión a través del Golfo de México y la Península de Yucatán (en la República Mexicana), el viento penetra al territorio del Golfo de México por el departamento de Izabal y se encañona entre las Sierras del Merendón y Las Minas.

Estos hacen que los vientos se aceleren y registren velocidades un poco más altas en el oriente del país. Estos vientos pasan a la zona central y se dirigen a la parte noroeste del país disminuyendo considerablemente su velocidad, el área cubierta por estos vientos estaría comprendida entre la Sierra de los Cuchumatanes y el Pie del Monte de la Costa Sur.

Durante los meses de marzo a junio, el viento mantiene un componente Sur, por la presencia de sistemas de baja presión ubicados a lo largo del Océano Pacífico que son responsables de gobernar la circulación o flujo del viento. Cuando estos sistemas de depresión son lo suficientemente grandes, hacen que el viento logre rebasar los macizos montañosos del Pie de Monte y la Sierra de los Cuchumatanes, llegando hasta los departamentos de Alta Verapaz, Huehuetenango y El Quiché

En los restantes meses de julio a septiembre, el viento también mantiene una componente Norte, debido a la presencia del anticiclón semipermanente del Atlántico, que mantiene un flujo a través del departamento de Izabal; excepto en situaciones donde aparecen los huracanes o tormentas tropicales que hacen que el flujo cambie completamente, pero ello, es forma transitoria.

Existen lugares que han sido evaluados, lográndose llevar los estudios a nivel de factibilidad. Dentro estos estudios se encuentra el proyecto eólico Buenos Aires, con una potencia de 15 MW y una producción en promedio anual de energía de 40 GWh. Este proyecto se encuentra en el lado sur oriente del departamento de Guatemala, en la falda del volcán de Pacaya y a 35 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

En el documento denominado Plan de Negocios, del Proyecto Eólico El Rodeo, se contempla la instalación de un potencia de 3,900 kW y una

producción anual de 11,100,672 KWh. Este proyecto se encuentra ubicado en la aldea El Rodeo del municipio de San Marcos, a 285 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala.

Adicionalmente, existen entidades privadas que se encuentran realizando mediciones de viento (velocidad y dirección), con el objeto de definir la capacidad del proyecto de generación eólica. Estas estaciones de medición se encuentran en Jutiapa, en Villa Canales y en San Vicente Pacaya.

Finalmente, el desarrollo de proyectos de energía eólica en Guatemala puede ser un complemento a la producción proveniente de centrales hidroeléctricas, ya que cuando estas centrales presentan sus niveles más bajos de generación en época de verano, la generación eólica presenta sus niveles más altos, por lo que, su época de producción tiende a ser complementaria con las centrales hidroeléctricas. Es común que el aumento de la velocidad de los vientos haga disminuir las precipitaciones.

### **1.2.3 Mapa eólico de Guatemala**

Con la ayuda técnica y financiera del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se desarrolló el proyecto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), con la finalidad de promover la utilización de la energía eólica y solar, minimizando las barreras causadas por la falta de información, se obtuvieron los siguientes resultados:

- ✓ Mapas de velocidad (m/s) y densidad de potencia del viento (W/m<sup>2</sup>) a una altura de 50 m, para los países de Centroamérica y Cuba.

- ✓ Mapas de radiación solar global anual y directa normal, en KWh/m2/día, para Centroamérica y Cuba.
- ✓ Herramienta geoespacial que muestra el potencial eólico y solar de Guatemala, así como, información geográfica y de infraestructura, entre otras.

En el siguiente mapa se puede observar las áreas donde existe potencial de viento.

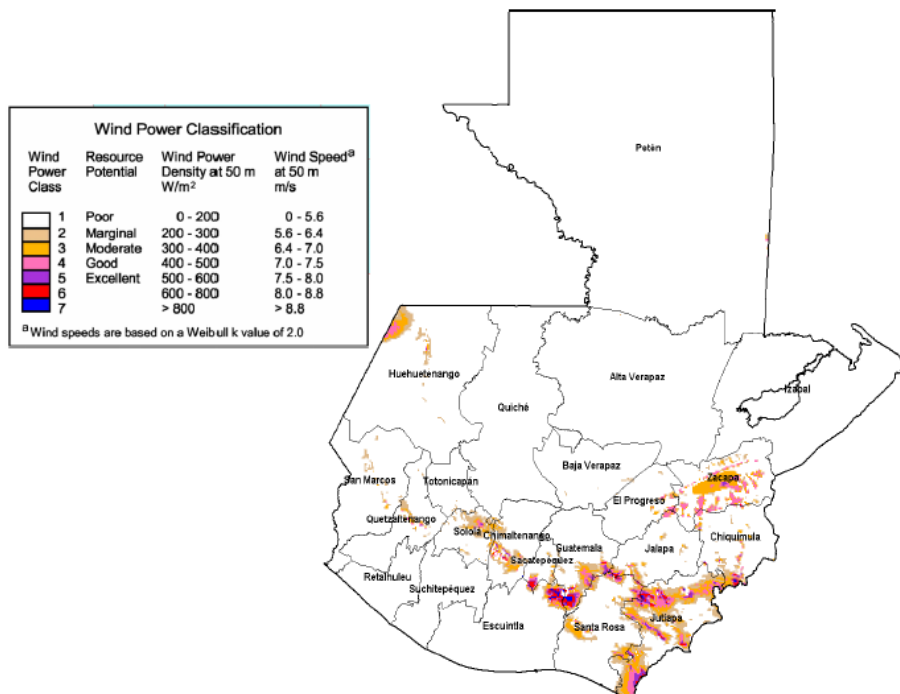


Fig. 1.11 Fuente: Guía del inversionista 2010. Dirección General de Energía y Minas, Ministerio de Energía y Minas

### **1.3 Parámetros necesarios para el cálculo de la generación eólica.**

La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

El análisis requerido depende directamente de la aplicación y la escala prevista; naturalmente, un proyecto a gran escala conectado a la red requiere de un estudio más profundo que un pequeño sistema aislado. El método más exacto (aunque más costoso) para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más anemómetros, los cuales, periódicamente, generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica. Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. Información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar el análisis del potencial eólico; sin embargo, este tipo de información generalmente tiende a subestimar el recurso eólico.

Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica:

1. **Velocidad del viento:** es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía



directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3,5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes, 6 m/s, como mínimo.

2. **Características del viento (turbulencia):** mientras que los modelos de viento globales ponen el aire en movimiento y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región, rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.
3. **Densidad del aire:** temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia, para una velocidad del viento dada.

#### **1.4 Estimaciones iniciales de capacidad instalada y la energía generada.**

El espacio disponible y, sobre todo, el acceso a la red son factores decisivos para determinar cuántas turbinas y con qué potencia nominal se deben utilizar. Por lo tanto, el operador de la red local debe determinar que potencia máxima de la central eólica es posible suministrar a la red, y que el nivel de voltaje es el adecuado para la conexión a la red. Para parques eólicos grandes (> 20 MW), puede tener sentido o incluso ser necesario configurar un subestación por separado. De estas dos condiciones límite (el espacio

disponible y la gran capacidad), se pueden determinar el número y la salida de potencia nominal de las turbinas de viento para instalarse. Esta estimación, a continuación, sirve de base para la primera predicción de rendimiento de energía. El rendimiento esperado se determina examinando por sector de dirección del viento mediante la distribución de frecuencia de la velocidad del viento determinada para cada sector de dirección del viento y las características de rendimiento de las turbinas de viento. Este cálculo es necesario para encontrar la disposición óptima de las turbinas dentro de la granja de viento para producir el mayor rendimiento de energía global y minimizar el efecto inevitable que las turbinas de viento se tienen el uno al otro (efecto de "sombra del viento").



## **CAPÍTULO 2. PROYECTO DE TORRES DE MEDICIÓN EÓLICA EN GUATEMALA**

### **2.1 Descripción del proyecto**

Uno de los objetivos de la política energética del Gobierno de Guatemala, es fomentar el aprovechamiento de los recursos renovables de energía con que cuenta el país, así como, promover la localización, evaluación e inventario de estos energéticos que sirvan para la generación de energía. Para cumplirla, se están desarrollando acciones para el uso de la energía proveniente del viento, a través de la instalación de torres de medición de viento, las cuales, generan información básica para que se puedan desarrollar de acuerdo al potencial identificado, proyectos de generación de energía eléctrica, bombeo de agua, entre otras aplicaciones.

El proyecto consiste en la instalación de torres de medición del recurso eólico, que registran velocidad y dirección del viento y temperatura, entre otros.

### **2.2 Objetivos del proyecto**

- ✓ Conocer el potencial eólico en el país.
  
- ✓ Contar con una base de datos disponible para el desarrollo de proyectos energéticos.
  
- ✓ Promover la utilización de los recursos renovables de energía, en especial la utilización del viento, como una opción energética limpia.
  
- ✓ Disminuir la dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, y por consiguiente, disminuir la factura petrolera.

- ✓ Proteger el medio ambiente, al reducirse la cantidad de contaminantes principalmente el dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, al utilizar la energía eólica en la generación eléctrica.
  
- ✓ Diversificar la oferta energética

### **2.3 Período de tiempo de las mediciones**

El proyecto que desarrolla la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, consiste en la medición del recurso eólico, por un periodo de medición de dos años por sitio seleccionado, mediante la instalación de torres de medición eólica, torres que cuentan con equipos que brindan información sobre el comportamiento de la velocidad y dirección del viento y temperatura, principalmente.

### **2.4 Torres de medición eólica**

La torre de medición instaladas por la Dirección General de Energía tiene una altura de 30 metros (a excepción de las torres de medición instaladas en Nentón, Huehuetenango y Guanagazapa, Escuintla que tiene una altura de 51 metros), en él se encuentran instalados equipos que miden el comportamiento del viento (velocidad y dirección) y temperatura, cada diez minutos y la almacenan en un registrador.

Las torres son marca NRG y tienen los siguientes equipos y componentes:

1. Medidores de velocidad, debidamente calibrados.
2. Medidores de dirección de viento.
3. Un sensor de temperatura.

4. Un registrador (Data logger)
5. Un pararrayo, con su alambre y dos varillas de tierra.
6. Torre tubular de 30 con sus tensores y anclas.

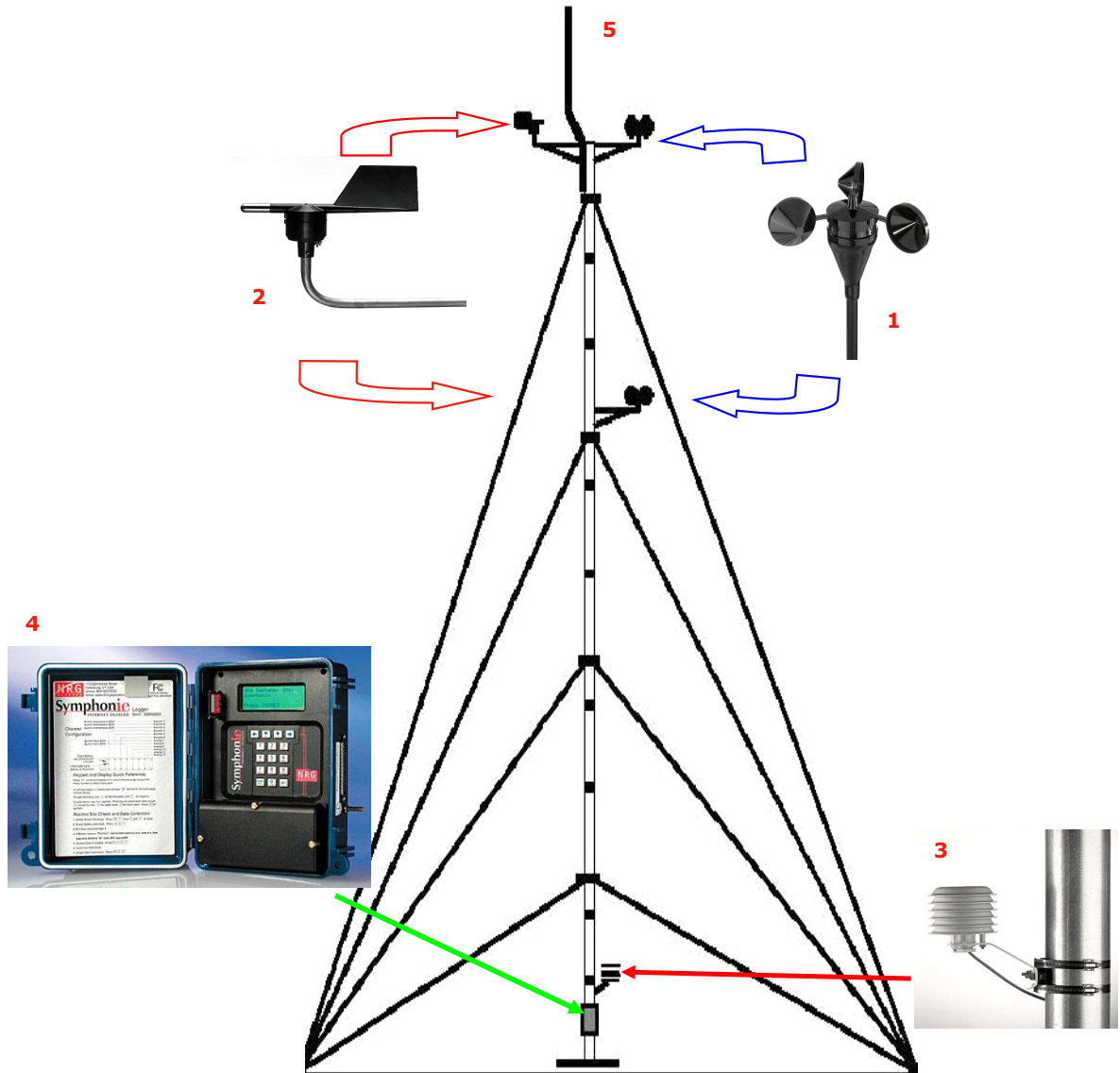


Fig. 2.1 Componentes de una torres de medición eólica. Fuente: Guía del Inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Minas, Ministerio de Energía y Minas

## 2.5 Sitios de medicioneolica

El proyecto de medición eólica que actualmente desarrolla la Dirección General de Energía, inició en el año 2006, a la fecha ya se cuentan con resultados de la medición del viento, y estos corresponden a los sitios localizados en: Estanzuela, Zacapa; San Marcos, San Marcos; Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá; Alotenango, Sacatepéquez; Moyuta, Jutiapa, Chiquimulilla, Santa Rosa y Mataquescuintla, Jalapa; Jutiapa, Jutiapa; Quesada, Jutiapa; Morales, Izabal; Villa Canales, Guatemala, Nentón, Huehuetenango y Guanagazapa, Escuintla.

En el siguiente mapa se muestra los sitios en donde se cuentan con resultados del de medición eólica.

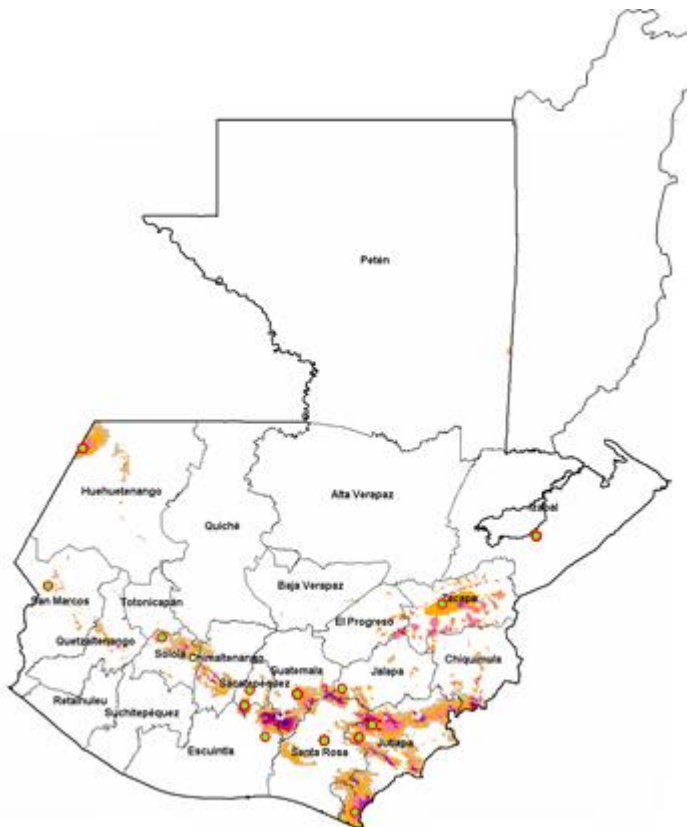


Fig. 2.2 Sitios de medición eólica. Fuente: Guía del Inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Minas, Ministerio de Energía y Minas

En la siguiente tabla, se muestran las ubicaciones de las torres de medición eólica, en la se incluye el nombre del sitio, fecha de inicio y de finalización de la medición, así como, de aquellas torres que aún se encuentran en medición, altura sobre el nivel del mar, distancia de la capital al sitio y las coordenadas geográficas.

LOCALIZACION DE LAS TORRES DE MEDICION EOLICA								
No.	Torre No.	Nombre del Sitio	Inicio de medición	Final de la Medición	Altitud en msnm	Distancia de la capital en km	Coordenadas Geográficas	
							N	W
1	OO01	Finca Matazano, Chispán, Estanzuela, Zacapa	12-Ene-06	28-Feb-08	197	141	15° 01' 30.8"	89° 33' 46.6"
2	OO10	El Rodeo, San Marcos, San Marcos	14-Ene-06	31-Dic-08	3340	275	15° 02' 33.5"	91° 51' 41.5"
3	OO20	Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá	15-Ene-06	12-Feb-08	3013	170	14° 50' 46.7"	91° 21' 35.6"
4	OO30	Finca Candelaria, Alotenango, Sacatepéquez	16-Ene-06	13-Mar-08	1091	70	14° 25' 41.1"	90° 48' 47.5"
5	OO50	Samororo, Mataquesuintla, Jalapa	23-Oct-06	24-Feb-10	1493	55	14° 30' 41"	90° 16' 59.8"
6	OO60	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	25-Oct-06	En medición	1850	140	14° 23' 5.9"	90° 1' 39.2"
7	OO70	Salamar, Moyuta, Jutiapa	28-Oct-06	15-Mar-09	32	164	13° 51' 24.5"	90° 6' 21.1"
8	OO80	Guayabales, Chiquimulilla, Santa Rosa	11-Dic-07	En medición	769	130	14° 7' 2.8"	90° 19' 7.6"
9	OO90	La Brea, Quesada, Jutiapa	13-Dic-07	En medición	1318	115	14° 20' 7.3"	90° 4' 2.0"
10	O100	Finca Bella Vista, Parcelamiento, San Gil Morales Izabal	23-Jul-08	En medición	599	240	15° 29' 11.1"	88° 56' 47.7"
11	O110	Finca la Concha, El Jocotillo, Villa Canales, Guatemala	10-Sep-08	En medición	1126	42	14° 23' 43.4"	90° 29' 43.0"
12	O120	Aldea Chacaj, Nentón, Huehuetenango	16-Oct-08	En medición	690	384	15° 54' 20.6"	91° 48' 37.2"
13	O130	Monte María, Alotenango, Sacatepéquez	10-Jun-09	En medición	791	80	14° 23' 38.5"	90° 48' 49.5"
14	O140	La Unión, Guanagazapa, Escuintla	24-Jun-10	En medición	429	96	14° 10.482'	90° 34.393'

Tabla 2.1 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas



## **2.6 Resultados de las mediciones del viento por sitio**

Los resultados de las mediciones que se presentan a continuación son el resultado del proyecto de Torres de Medición Eólica, que actualmente está desarrollando el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Energía. La información que presenta corresponde a información mensual y anual por sitio.

Los resultados de medición que se presentan en este capítulo fueron obtenidos de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, en la “Guía del Inversionista 2010, en el documento denominado Resultados del Proyecto de mediciones del Viento en Guatemala.

### **2.6.1 Chispán, Estanzuela, Zacapa**

La torre de medición eólica instalada en el municipio de Estanzuela, Zacapa se identifica con el número 0001 e inicia la medición el 12 de enero de 2006 y por haberse cumplido con el periodo de medición (dos años), la torre fue desinstalada el 28 de febrero de 2008.

En cuadro semuestran las velocidades promedio mensual y anual, observándose que el promedio anual fue de 4.1 m/s y de 3.9 m/s para los años 2006 y 2007, respectivamente; y para el 2008, el promedio de velocidad mensual para los meses de enero y febrero de 2008, son de 4.5 y 4.4 m/s, respectivamente.

0001	CHISPAN, ESTANZUELA, ZACAPA					
	Velocidad m/s			Temperatura °C		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Enero	4.7	4.7	4.5	26.4	27.4	26.8
Febrero	4.9	4.7	4.4	26.7	28.5	29.0
Marzo	4.9	5.2		28.7	28.7	
Abril	5.0	5.0		30.1	30.9	
Mayo	4.0	4.5		30.3	31.0	
Junio	3.2	3.1		28.4	29.6	
Julio	3.3	3.4		28.7	29.3	
Agosto	3.8	3.0		29.7	29.1	
Septiembre	3.5	2.9		29.6	28.2	
Octubre	3.6	2.5		29.6	27.7	
Noviembre	3.8	3.7		26.9	26.2	
Diciembre	4.5	3.7		26.9	26.5	
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.1</b>	<b>3.9</b>	<b>4.4</b>	<b>28.5</b>	<b>28.6</b>	<b>27.9</b>

Tabla 2.2 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

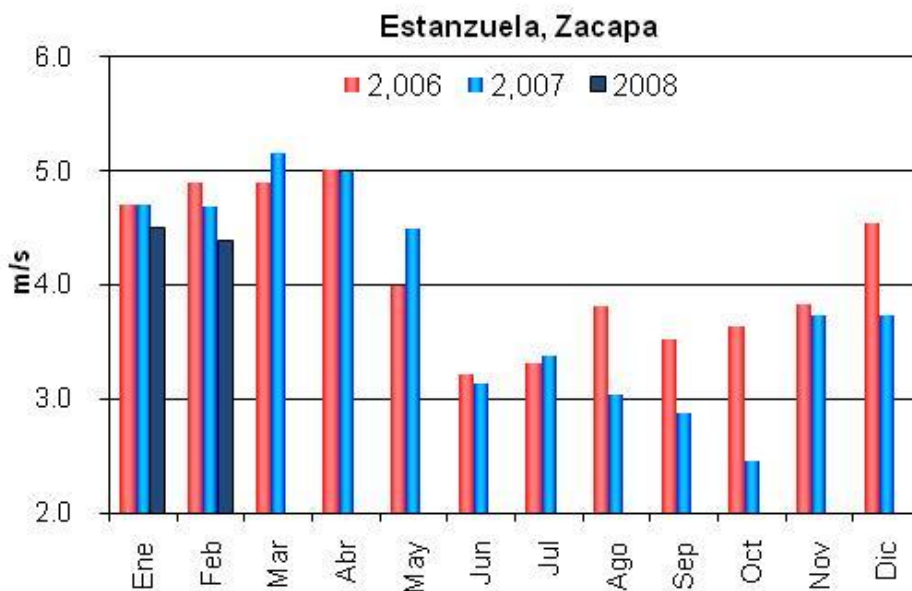


Fig. 2.3 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas



*Fig. 2.4 Torre de medición eólica instalada en Estanzuela, Zacapa Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas*

## **2.6.2 El Rodeo, San Marcos**

La torre de medición eólica instalada en San Marcos, San Marcos, se identifica con el número 0010 y empezó a medir a partir del 14 de enero de 2006.

En el siguiente cuadro y gráfico, se muestran las velocidades promedio mensual y anual, observándose que el promedio fue de 5.8 m/s y de 6.0 m/s para los años 2006 y 2007 respectivamente.

OO10	EL RODEO, SAN MARCOS, SAN MARCOS			
	Velocidad		Temperatura °C	
	2006	2007	2006	2007
Enero	7.8	8.1	8.7	9.0
Febrero	6.2	5.6	9.6	10.5
Marzo	6.5	6.4	10.2	9.9
Abril	5.7	5.3	10.3	10.9
Mayo	4.4	4.3	10.6	11.1
Junio	5.0	4.9	10.1	10.5
Julio	5.9	5.9	9.9	10.2
Agosto	5.8	6.1	10.4	10.4
Septiembre	5.0	5.6	10.2	10.0
Octubre	5.1	5.5	10.9	9.6
Noviembre	5.6	7.9	9.6	8.9
Diciembre	6.8	6.7	9.3	8.9
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.8</b>	<b>6.0</b>	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>

Tabla 2.3 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

Debido a los fuertes vientos que se dieron a principios de enero de 2008, la torre se cayó.

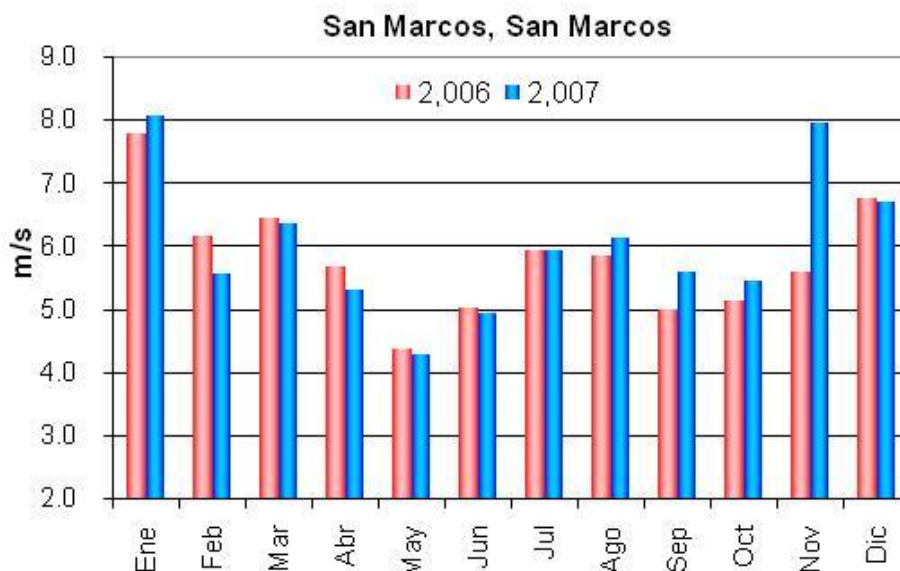


Fig. 2.5 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.3 Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá

La torre de medición eólica instalada en Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá, se identifica con el número 0020 e inicia la medición el 15 de enero de 2006. Por haberse cumplido con el periodo de medición (dos años), la torre fue desinstalada el 12 de febrero de 2008.

En el siguiente cuadro se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio fue de 4.1 m/s y de 4.0 m/s para los años 2006 y 2007 respectivamente. Finalmente, para los meses de enero y febrero de 2008, las velocidades promedio son de 5.3 y 3.8 m/s, respectivamente.

OO20	SANTA CATARINA IXTAHUACAN, SOLOLA					
	Velocidad			Temperatura °C		
	2006	2007	2008*	2006	2007	2008
Enero	5.4	5.3	5.3	10.7	10.8	9.9
Febrero	4.5	3.7	3.8	10.9	11.8	10.1
Marzo	4.1	4.2		11.4	11.0	
Abril	3.8	3.7		11.4	12.4	
Mayo	2.9	3.1		12.0	12.1	
Junio	3.8	3.6		11.8	12.0	
Julio	4.6	4.4		11.9	11.8	
Agosto	4.4	4.0		12.5	11.8	
Septiembre	3.6	3.9		11.7	11.5	
Octubre	3.4	3.6		12.3	11.0	
Noviembre	3.6	4.6		11.0	10.7	
Diciembre	4.7	4.2		10.9	11.0	
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.1</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>10.0</b>

\*Mediciones a 20 m, debido a que el anemómetro de 30 m dejó de funcionar.

Tabla 2.4 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

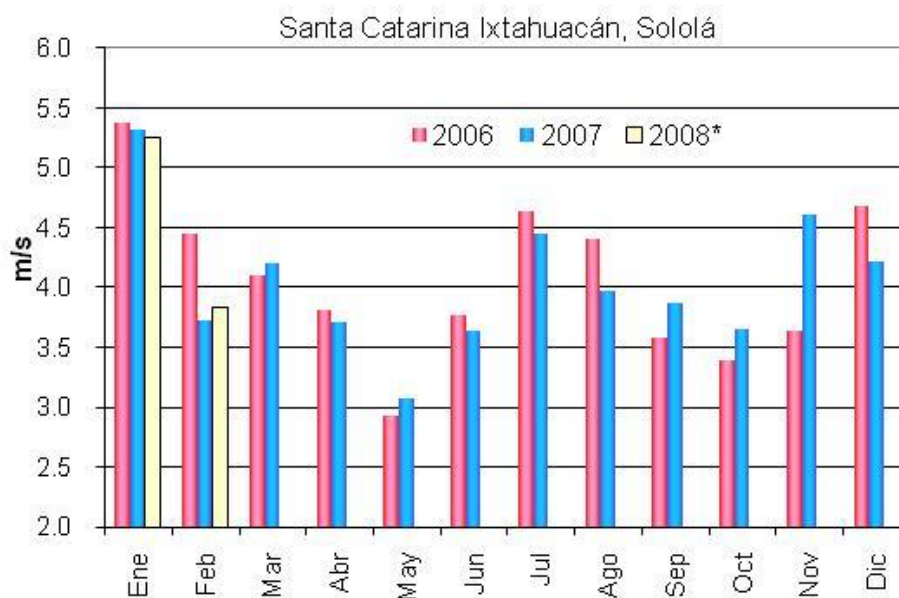


Fig. 2.6 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

#### 2.6.4 Alotenango, Sacatepéquez

La torre de medición instalada en la Finca Candelaria, se identifica con el número 0030 e inicia la medición el 16 de enero de 2006. Por haberse cumplido con el periodo de medición (dos años), la torre fue desinstalada el 13 de marzo de 2008.

En el siguiente cuadro se muestran las velocidades promedio mensual y anual, observándose que el promedio para los años 2006 y 2007 fue de 5.8 m/s y 5.6 m/s respectivamente, finalmente, para los meses de enero a marzo de 2008, el promedio es de 6.7 m/s.

OO3O	FINCA CANDELARIA, ALOTENANGO, SACATEPEQUEZ					
	Velocidad			Temperatura °C		
	2006	2007	2008*	2006	2007	2008
Enero	9.0	9.1	9.3	23.2	23.4	22.4
Febrero	8.3	6.3	5.3	22.6	22.4	22.2
Marzo	6.7	7.4	5.4	22.9	23.8	22.5
Abril	4.9	4.8		23.0	23.3	
Mayo	3.6	3.8		22.9	23.3	
Junio	4.0	4.0		22.8	23.1	
Julio	5.0	4.5		23.5	23.3	
Agosto	4.7	3.2		23.7	22.5	
Septiembre	3.9	3.8		22.7	22.5	
Octubre	3.8	3.8		23.1	21.9	
Noviembre	7.1	9.4		22.5	23.6	
Diciembre	8.2	7.0		23.4	22.5	
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.8</b>	<b>5.6</b>	<b>6.7</b>	<b>23.0</b>	<b>23.0</b>	<b>22.4</b>

\*Mediciones a 20 m, debido a que el anemómetro a 30 m dejó de funcionar

Tabla 2.5 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

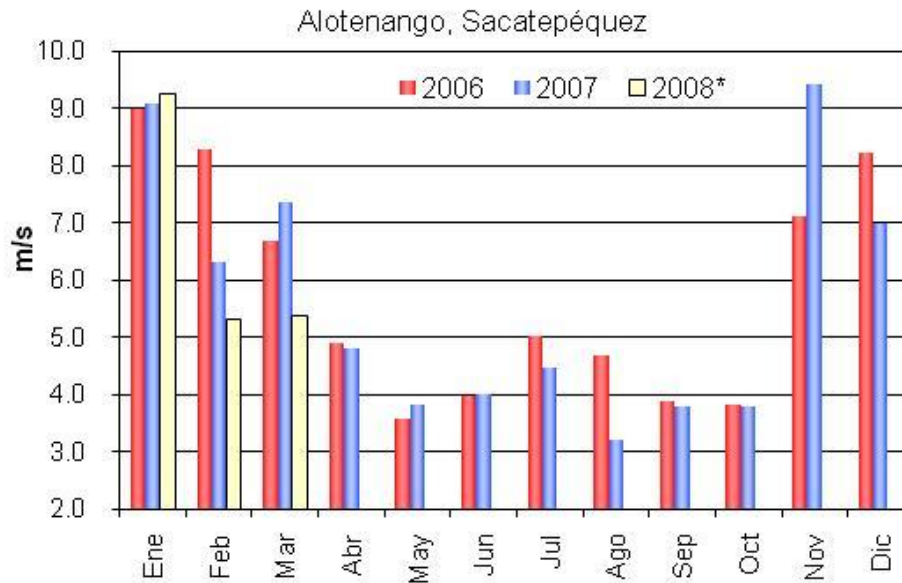


Fig. 2.7 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.5 Samororo, Mataquescuintla, Jalapa.

La torre de medición del recurso eólico instalada en la aldea Samororo, se identifica con el número 0050 y empezó a medir a partir del 23 de octubre de 2006. En el cuadro de mediciones que se presenta, se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio para el año 2006, fue de 7.6 m/s y para los años 2007, 2008 y 2009, fue de 6.2 m/s, respectivamente.

La torre fue desinstalada el 24 de febrero de 2010 por haber cumplido con el periodo de medición.

0050	SAMORORO, MATAQUESCUINTLA, JALAPA							
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
	Velocidad en m/s				Temperatura °C			
Enero		10.1	10.1	8.5		16.2	15.3	15.4
Febrero		6.0	6.3	10.3		16.6	16.2	15.1
Marzo		8.5	6.1	7.6		16.8	16.3	15.4
Abril		4.4	5.4	5.5		18.1	17.4	17.8
Mayo		4.5	3.8	3.6		18.1	17.7	17.4
Junio		3.9	4.7	2.8		17.7	17.2	17.3
Julio		4.7	4.0	7.5		17.8	17.0	18.3
Agosto		3.8	3.6	6.5		17.4	17.3	18.2
Septiembre		4.0	3.0	3.9		17.1	17.2	18.0
Octubre	5.5	4.9	8.4	4.3	17.4	16.3	16.6	17.7
Noviembre	7.9	11.6	9.6	7.6	15.8	15.9	14.7	16.5
Diciembre	9.3	7.8	9.1	6.0	16.2	16.0	15.5	16.3
<b>Promedio</b>	<b>7.6</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>6.2</b>	<b>16.5</b>	<b>17.0</b>	<b>16.5</b>	<b>16.9</b>

Tabla 2.6 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas



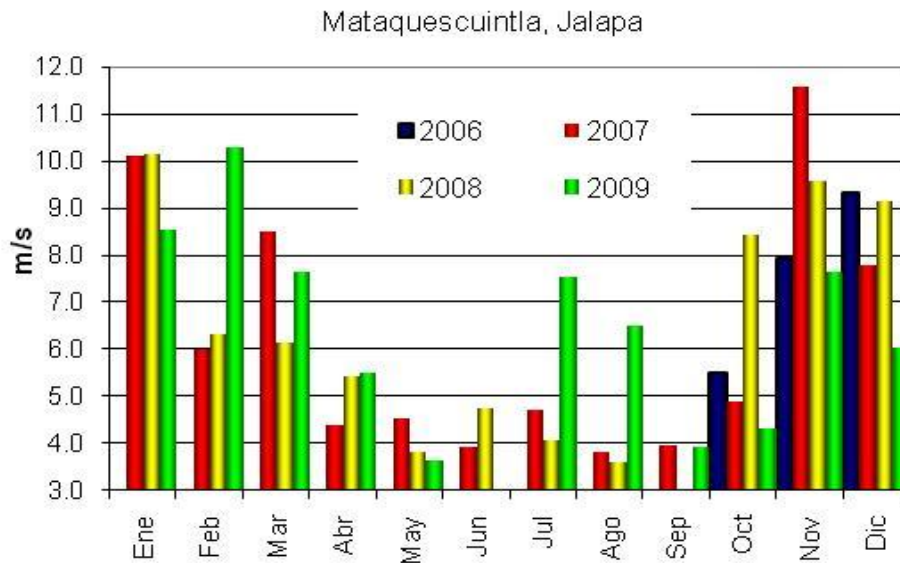


Fig. 2.8 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.6 Durazno, Jutiapa, Jutiapa

La torre de medición del recurso eólico instalada en la aldea El Durazno se identifica con el número 0060 y empezó a medir a partir del 24 de octubre de 2006. En el siguiente cuadro y gráfico, se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio para los años 2006, 2007, 2008 y 2009, fueron de 6.5, 5.8, 5.7 y 5.7 m/s respectivamente.

OO6O	DURAZNO, JUTIAPA, JUTIAPA									
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
	Velocidad en m/s a 30 m					Temperatura °C				
Enero		8.6	8.5	7.3	7.7		15.8	15.2	14.9	15.0
Febrero		5.8	6.2	8.7	5.9		16.6	16.2	14.8	16.8
Marzo		7.9	6.1	7.5	5.4		16.6	16.6	15.3	17.6
Abril		4.8	5.4	5.8	4.3		18.3	17.7	18.2	18.5
Mayo		4.5	4.5	3.9	5.2		18.4	18.4	17.9	18.5
Junio		4.7	5.2	3.3			17.9	17.2	17.9	
Julio		5.1	4.2	6.7			17.7	17.0	17.7	
Agosto		4.4	3.8	6.4			17.3	17.5	17.6	
Septiembre		4.4	3.2	4.4			17.2	17.6	18.0	
Octubre	4.9	3.9	5.7	4.4		17.4	16.4	16.5	17.7	
Noviembre	7.0	8.9	7.2	6.2		15.4	15.3	14.6	16.1	
Diciembre	7.5	7.0	8.0	5.7		16.1	15.5	14.8	16.1	
<b>Prom.</b>	<b>6.5</b>	<b>5.8</b>	<b>5.7</b>	<b>5.8</b>		<b>16.3</b>	<b>16.9</b>	<b>16.6</b>	<b>16.8</b>	

Tabla 2.7 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

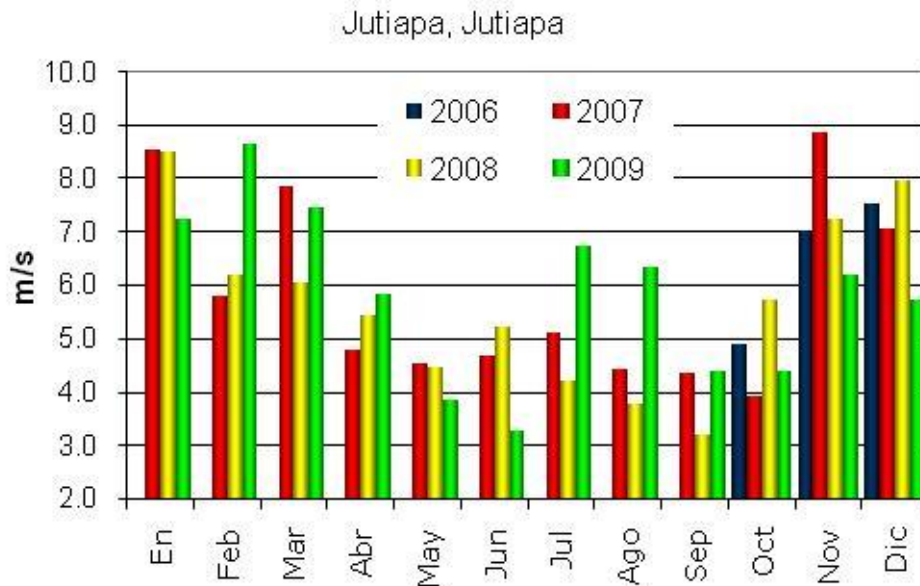


Fig. 2.9 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

## 2.6.7 Salamar, Ciudad Pedro de Alvarado, Moyuta, Jutiapa.

La torre de medición instalada en la Salamar se identifica con el número 0070, inicia la medición a partir del 28 de octubre de 2006, por haberse cumplido con el periodo de medición (dos años), la torre fue desinstalada el 28 de abril de 2009.

A continuación se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio para el 2006 (durante los meses de medición), 2007 y 2008 fue de 3.6 m/s y de 3.7 m/s respectivamente. Finalmente, el promedio de velocidad de los meses de enero a marzo de 2009, fueron de 6.2 m/s.

OO70	SALAMAR, CIUDAD PEDRO DE ALVARADO, MOYUTA, JUTIAPA							
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
	Velocidad en m/s a 30 m				Temperatura °C			
Enero		4.8	5.4	5.0		29.3	28.5	28.6
Febrero		4.1	3.4	6.9		28.3	28.3	28.7
Marzo		5.0	4.1	6.8		30.1	28.8	28.8
Abril		3.1	3.7			29.8	29.2	
Mayo		2.7	2.5			29.3	28.4	
Junio		2.7	2.7			28.4	27.6	
Julio		2.8	2.8			28.1	27.2	
Agosto		2.5	2.7			27.3	27.3	
Septiembre		2.8	2.5			27.3	27.0	
Octubre	3.8	2.7	3.3		28.6	26.5	27.0	
Noviembre	4.9	5.3	6.2		27.6	28.8	28.1	
Diciembre	4.7	4.3	5.0		28.8	28.3	28.4	
<b>PROMEDIO</b>	<b>4.5</b>	<b>3.6</b>	<b>3.7</b>	<b>6.2</b>	<b>28.4</b>	<b>28.5</b>	<b>28.0</b>	<b>28.7</b>

Tabla 2.8 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

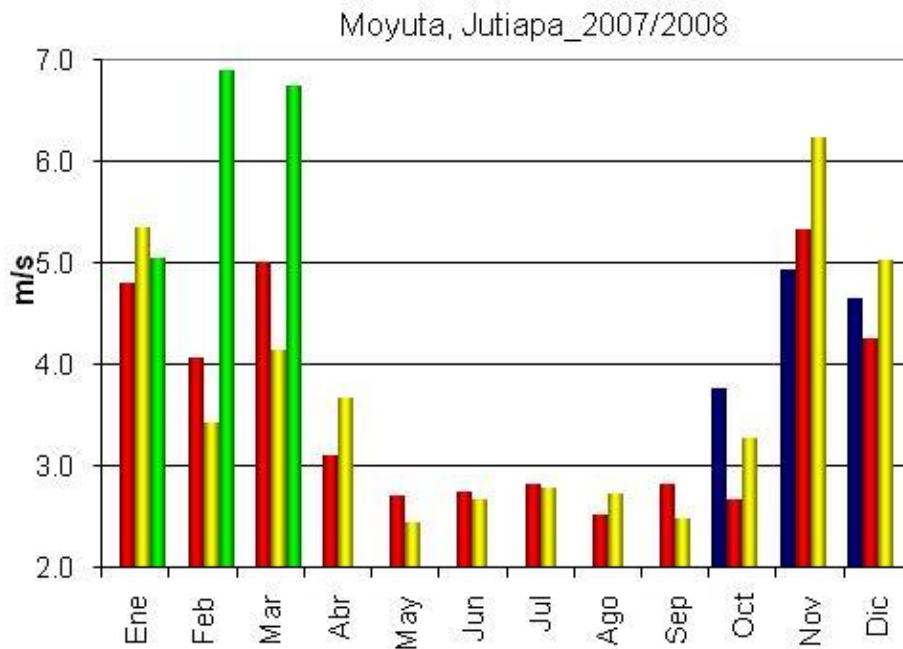


Fig. 2.10 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.8 Guayabales, Chiquimulilla, Santa Rosa.

La torre de medición instalada en Guayabales se identifica con el número 0080. Esta torre empezó a medir a partir del 11 de diciembre de 2007 y fue desinstalada el 22 de septiembre de 2009.

A continuación, se muestran las velocidades promedio mensual y anual; para el 2008, el promedio fue de 2.4 m/s, de enero a septiembre de 2009, fue de 2.5 m/s.

OO80	GUAYABALES, CHIQUIMULILLA, SANTA RORA			
	2008	2009	2008	2009
	Velocidad en m/s		Temperatura °C	
Enero	3.4	2.8	24.3	24.2
Febrero	2.1	4.8	23.9	24.1
Marzo	2.3	3.5	24.3	24.1
Abril	2.1	2.1	24.7	25.2
Mayo	1.7	1.8	24.3	24.3
Junio	1.9	1.7	24.1	23.9
Julio	2.0	2.1	24.0	25.3
Agosto	1.7	2.0	24.5	24.8
Septiembre	1.6	1.6	30.5	24.6
Octubre	2.2			
Noviembre	5.0			
Diciembre	3.1		24.3	
<b>Promedio</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>24.9</b>	<b>24.5</b>

Tabla 2.9 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

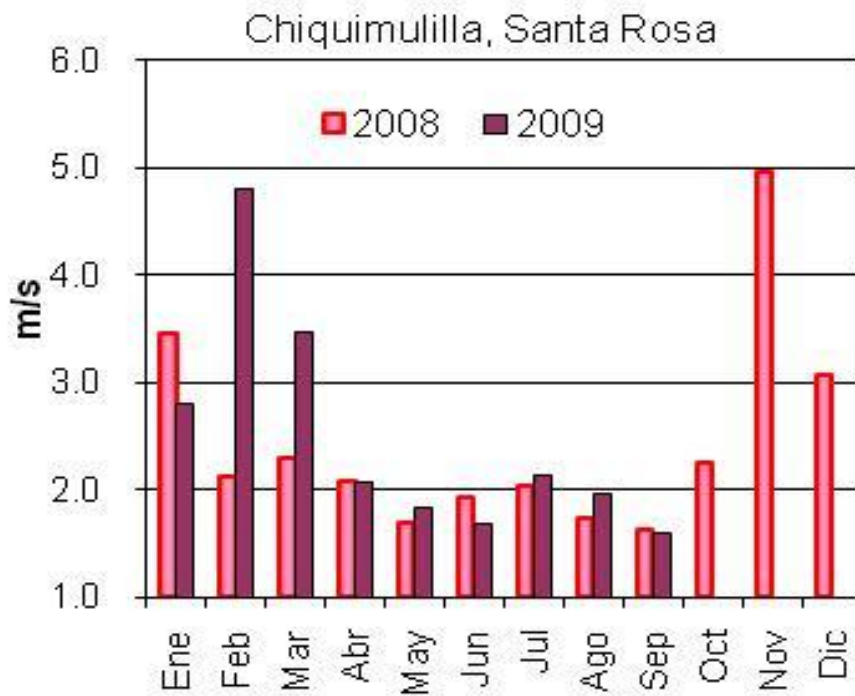


Fig. 2.11 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

## 2.6.9 La Brea, Quesada, Jutiapa

La torre de medición instalada en La Brea se identifica con el número 0090 y empezó a medir a partir del 13 de diciembre de 2007. En el siguiente cuadro, se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio para el 2008 y 2009 fue de 3.1 y 3.2 m/s, respectivamente.

OO90	LA BREA, QUESADA, JUTIAPA					
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
	Velocidad en m/s			Temperatura °C		
Enero	5.0	3.5	5.0	20.0	20.2	20.1
Febrero	3.1	5.4	3.4	20.6	19.9	21.6
Marzo	2.7	3.9	3.1	20.6	20.3	22.1
Abril	2.6	2.9	2.3	21.7	22.4	22.6
Mayo	2.3	2.0	2.6	22.0	21.5	22.8
Junio	2.5	1.7	2.3	21.2	21.2	21.7
Julio	2.9	4.3	2.1	21.0	22.7	21.3
Agosto	2.2	3.7		21.0	22.4	
Septiembre	1.8	2.2		20.9	22.1	
Octubre	2.7	2.2		20.4	21.7	
Noviembre	4.7	2.9		19.5	20.8	
Diciembre	4.5	3.4		20.2	20.9	
<b>Promedio</b>	<b>3.1</b>	<b>3.2</b>	<b>3.0</b>	<b>20.8</b>	<b>21.3</b>	<b>21.7</b>

Tabla 2.10 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

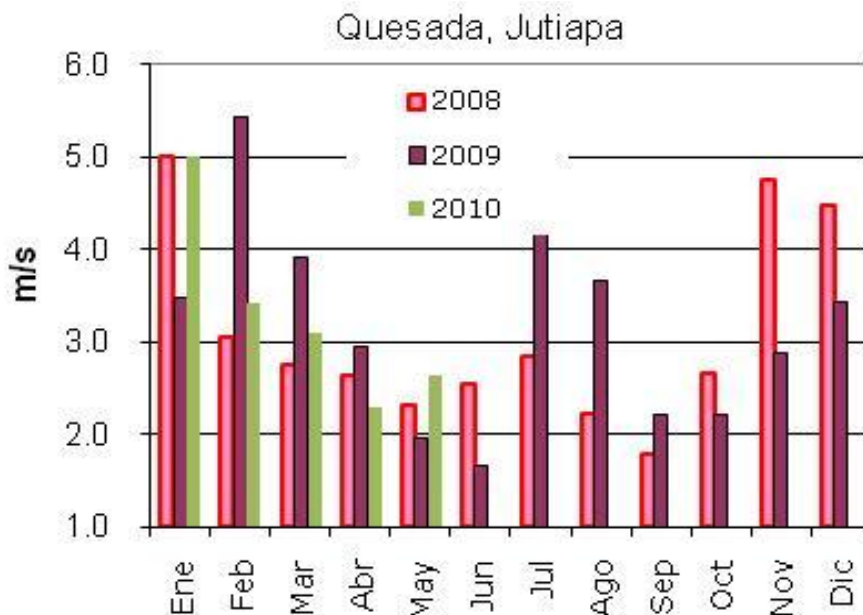


Fig. 2.12 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.10 San Gil, Morales, Izabal.

La torre de medición instalada en la finca Bella Vista, Parcelamiento San Gil, Morales, Izabal, se identifica con el número 0100 y empezó a medir a partir del 23 de julio de 2008.

En el siguiente cuadro, se muestran las velocidades promedio mensual y el promedio anual; para el 2008 fue de 4.0 m/s y para el 2009 fue 3.8 m/s.

O100	SAN GIL, MORALES, IZABAL			
	2008	2009	2008	2009
	Velocidad en m/s		Temperatura °C	
Enero		3.8		19.5
Febrero		4.0		19.2
Marzo		4.5		20.8
Abril		4.2		23.5
Mayo		3.7		24.0
Junio		3.5		24.0
Julio	3.6	3.9	23.6	23.3
Agosto	3.5	3.7	23.7	23.0
Septiembre	3.9	3.4	23.8	23.9
Octubre	5.0	3.6	21.0	23.4
Noviembre	4.1	3.8	20.0	21.1
Diciembre	3.7	3.3	19.2	22.9
<b>Promedio</b>	<b>4.0</b>	<b>3.8</b>	<b>21.9</b>	<b>22.4</b>

Tabla 2.11 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

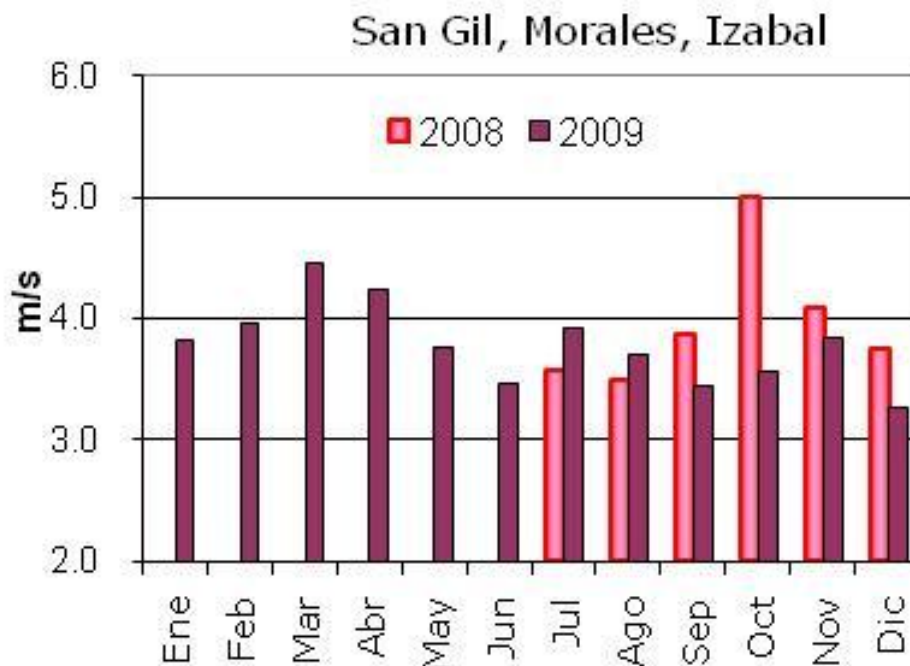


Fig. 2.13 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.11 La Concha, Villa Canales, Guatemala.

La torre de medición del recurso eólico instalada en La Concha, Villa Canales, Guatemala, se identifica con el número 0110 y empezó a medir a partir del 10 de septiembre de 2008.

En el siguiente cuadro, se muestran las velocidades promedio mensual y anual; observándose que el promedio para los años 2008 y 2009, fueron de 6.5 y 5.7 m/s, respectivamente.



O110	LA CONCHA, VILLA CANALES, GUATEMALA					
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
	Velocidad en m/s			Temperatura °C		
Enero		7.9	8.2		21.8	21.3
Febrero		9.1	5.9		21.6	22.7
Marzo		7.5	5.7		21.8	23.2
Abril		5.3	4.0		23.6	23.9
Mayo		3.5	3.5		23.1	23.4
Junio		2.8	3.2		22.9	22.9
Julio		6.1	3.2		24.2	22.7
Agosto		5.8			23.7	
Septiembre	2.5	3.8		22.4	23.2	
Octubre	6.2	4.3		22.2	23.1	
Noviembre	8.9	7.1		20.9	22.1	
Diciembre	8.4	5.6		21.8	22.0	
<b>Promedio</b>	<b>6.5</b>	<b>5.7</b>	<b>4.8</b>	<b>21.8</b>	<b>22.8</b>	<b>22.9</b>

Tabla 2.12 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

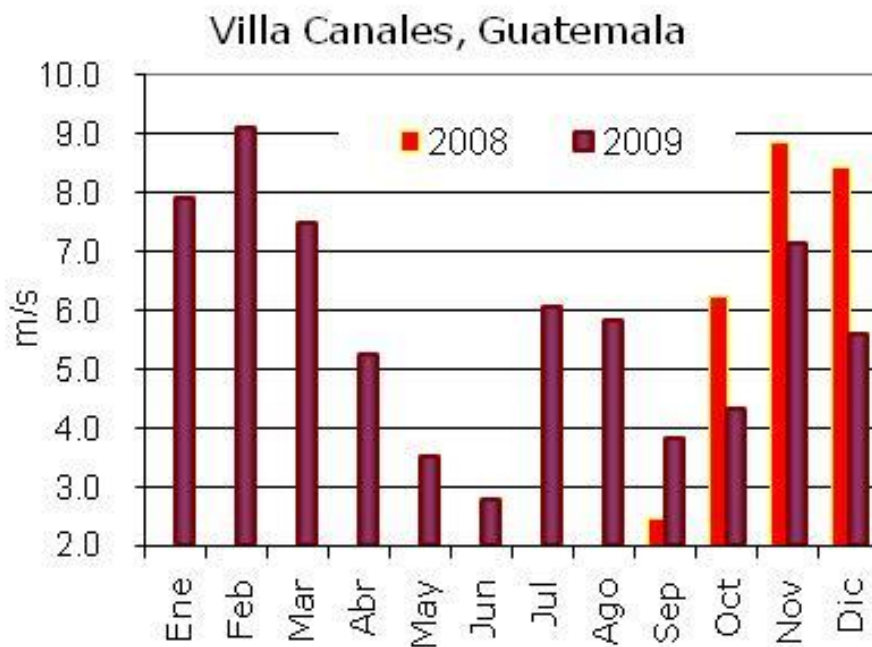


Fig. 2.14 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.12 Chacaj, Nentón, Huehuetenango

La torre de medición del recurso eólico instalada en la aldea Chacaj, municipio de Nentón, departamento de Huehuetenango se identifica con el número 0120 y empezó a medir a partir del 16 de octubre de 2008.

En los meses de medición del 2008, el promedio de la velocidad fue de 4.3 m/s; en el 2009, fue de 4.2 m/s; y en lo que va del presente año el promedio es de 3.9 m/s. Estas mediciones corresponden a una altura de 50 metros.

O120	CHACAJA, NENTON, HUEHUETENANGO					
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
	Velocidad en m/s			Temperatura °C		
Enero		4.4	4.1		22.1	21.3
Febrero		6.6	3.5		23.6	23.8
Marzo		6.0	4.1		24.6	24.8
Abril		5.4			27.6	27.7
Mayo		3.9			27.8	
Junio		2.5			25.8	
Julio		5.4			26.3	
Agosto		5.0			26.1	
Septiembre		3.0			25.7	
Octubre	3.8	3.0			25.5	
Noviembre	4.3	2.6			22.5	
Diciembre	4.8	3.0		22.3	22.6	
<b>Promedio</b>	<b>4.3</b>	<b>4.2</b>	<b>3.9</b>	<b>22.3</b>	<b>25.0</b>	<b>24.4</b>

Tabla 2.13 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

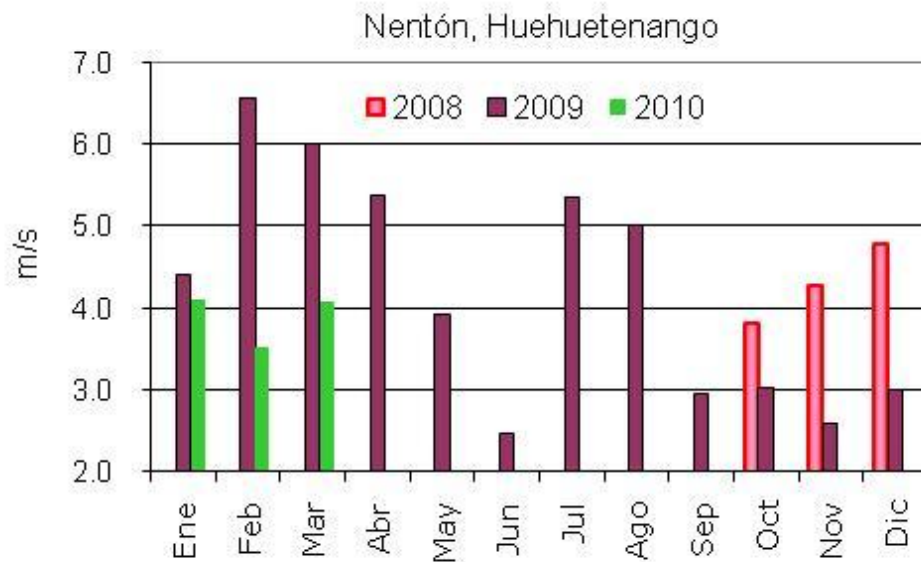


Fig. 2.15 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

### 2.6.13 Monte María, Alotenango, Sacatepéquez.

La torre de medición de viento instalada en la finca Monte María, se identifica con el número 0130 y empezó a medir a partir del 10 de junio de 2009.

En el periodo comprendido del 23 de julio al 29 de septiembre de 2009, no hubieron registros de medición, debido a que una descarga eléctrica en la torre dañara el logger. El logger fue cambiado el 29 de septiembre de 2009.

O130	MONTE MARIA, ALOTENANGO, SACATEPEQUEZ			
	2009	2010	2009	2010
	Velocidad m/s		Temperatura °C	
Enero		7.0		24.8
Febrero		4.4		25.5
Marzo		3.9		25.7
Abril		3.2		25.9
Mayo		2.5		25.4
Junio	2.5	2.2	24.2	24.6
Julio	3.6		26.2	
Agosto				
Septiembre				
Octubre	2.6		25.0	
Noviembre	3.8		24.9	
Diciembre	4.3		24.8	
<b>Promedio</b>	<b>3.4</b>	<b>3.9</b>	<b>25.0</b>	<b>25.3</b>

Tabla 2.14 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

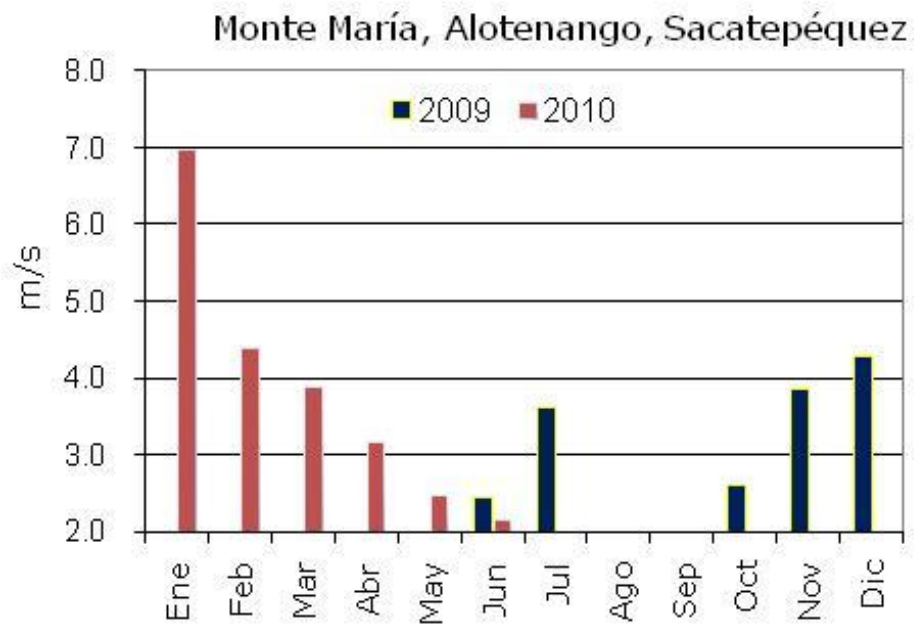


Fig. 2.16 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

## 2.7 Resumen de mediciones

En los siguientes cuadros se muestran los resultados comparativos de las mediciones por año y por sitio.

AÑO 2006	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO en m/s_ a 30 metros						
	Estanzuela, Zacapa	El Rodeo, San Marcos, San Marcos	Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá	Alotenango, Sacatepéquez	Samororo, Mataquescuintla, Jalapa	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	Salamar, Moyuta, Jutiapa
Ene	4.7	7.8	5.4	9.0			
Feb	4.9	6.2	4.5	8.3			
Mar	4.9	6.5	4.1	6.7			
Abr	5.0	5.7	3.8	4.9			
May	4.0	4.4	2.9	3.6			
Jun	3.2	5.0	3.8	4.0			
Jul	3.3	5.9	4.6	5.0			
Ago	3.8	5.8	4.4	4.7			
Sep	3.5	5.0	3.6	3.9			
Oct	3.6	5.1	3.4	3.8	5.5	4.9	3.8
Nov	3.8	5.6	3.6	7.1	7.9	7.0	4.9
Dic	4.5	6.8	4.7	8.2	9.3	7.5	4.7
<b>Prom</b>	<b>4.1</b>	<b>5.8</b>	<b>4.1</b>	<b>5.8</b>	<b>7.6</b>	<b>6.5</b>	<b>4.5</b>

Tabla 2.15 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

AÑO 2007	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO en m/s_ a 30 metros						
	Estanzuela, Zacapa	San Marcos, San Marcos	Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá	Alotenango, Sacatepéquez	Mataquescuintla, Jalapa	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	Salamar, Moyuta, Jutiapa
En	4.7	8.1	5.3	9.1	10.1	8.6	4.8
Feb	4.7	5.6	3.7	6.3	6.0	5.8	4.1
Mar	5.2	6.4	4.2	7.4	8.5	7.9	5.0
Abr	5.0	5.3	3.7	4.8	4.4	4.8	3.1
Ma	4.5	4.3	3.1	3.8	4.5	4.5	2.7
Jun	3.1	4.9	3.6	4.0	3.9	4.7	2.7
Jul	3.4	5.9	4.4	4.5	4.7	5.1	2.8
Ago	3.0	6.1	4.0	3.2	3.8	4.4	2.5
Sep	2.9	5.6	3.9	3.8	4.0	4.4	2.8
Oct	2.5	5.5	3.6	3.8	4.9	3.9	2.7
Nov	3.7	7.9	4.6	9.4	11.6	8.9	5.3
Dic	3.7	6.7	4.2	7.0	7.8	7.0	4.3
<b>Prom</b>	<b>3.9</b>	<b>6.0</b>	<b>4.0</b>	<b>5.6</b>	<b>6.2</b>	<b>5.8</b>	<b>3.6</b>

Tabla 2.16 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

2008	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO en m/s_ a 30 metros										
	Estanzuela Zacapa	Sta. Catarina, Ixtahuacán, Sololá	Alotenango, Sacatepéquez	Mataquescuintla, Jalapa	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	Salamar, Moyuta, Jutiapa	Guayabales Chiquimulilla Santa Rosa	La Brea, Quesada, Jutiapa	Morales, Izabal	Villa Canales, Guatemala	Nentón, Huehuetenango
En	4.5	5.3	9.3	10.1	8.5	5.4	3.4	5.0			
Feb	4.4	3.8	5.3	6.3	6.2	3.4	2.1	3.1			
Mar			5.4	6.1	6.1	4.1	2.3	2.7			
Abr				5.4	5.4	3.7	2.1	2.6			
May				3.8	4.5	2.5	1.7	2.3			
Jun				4.7	5.2	2.7	1.9	2.5			
Jul				4.0	4.2	2.8	2.0	2.9	3.6		
Ago				3.6	3.8	2.7	1.7	2.2	3.5		
Sep				3.0	3.2	2.5	1.6	1.8	3.9	2.5	
Oct				8.4	5.7	3.3	2.2	2.7	5.0	6.2	3.8
Nov				9.6	7.2	6.2	5.0	4.7	4.1	8.9	4.3
Dic				9.1	8.0	5.0	3.1	4.5	3.7	8.4	4.8
<b>Prom.</b>	<b>4.4</b>	<b>4.5</b>	<b>6.7</b>	<b>6.2</b>	<b>5.7</b>	<b>3.7</b>	<b>2.4</b>	<b>3.1</b>	<b>4.0</b>	<b>6.5</b>	<b>4.3</b>

Tabla 2.17 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

AÑO 2009	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO en m/s_ a 30 metros									
	Mataquescuintla Jalapa	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	Salamar, Moyuta, Jutiapa	Guayabales, Chiquimulilla, Santa Rosa	La Brea, Quesada, Jutiapa	Morales, Izabal	Villa Canales, Guatemala	Nentón, Huehue	Monte María, Alotenango, Sacatepéquez	
En	8.5	7.3	5.0	2.8	3.5	3.8	7.9	4.4		
Feb	10.3	8.7	6.9	4.8	5.4	4.0	9.1	6.6		
Mar	7.6	7.5	6.8	3.5	3.9	4.5	7.5	6.0		
Abr	5.5	5.8		2.1	2.9	4.2	5.3	5.4		
May	3.6	3.9		1.8	2.0	3.7	3.5	3.9		
Jun	2.8	3.3		1.7	1.7	3.5	2.8	2.5	2.5	
Jul	7.5	6.7		2.1	4.3	3.9	6.1	5.4	3.6	
Ago	6.5	6.4		2.0	3.7	3.7	5.8	5.0		
Sept	3.9	4.4		1.6	2.2	3.4	3.8	3.0		
Oct	4.3	4.4			2.2	3.6	4.3	3.0	2.6	
Nov	7.6	6.2			2.7	3.8	7.1	2.6	3.8	
Dic	6.0	5.7			-	3.3	5.6	3.0	4.3	
<b>PROM</b>	<b>6.2</b>	<b>5.8</b>	<b>6.2</b>	<b>2.5</b>	<b>3.1</b>	<b>3.8</b>	<b>5.7</b>	<b>4.2</b>	<b>3.4</b>	

Las mediciones en Nentón, Huehuetenango son a 51 metros de altura.

Tabla 2.18 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

AÑO 2010	VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO A 30 m				
	Durazno, Jutiapa, Jutiapa	La Brea, Quesada, Jutiapa	Villa Canales, Guatemala	Nentón, Huehue	Monte María, Alotenango, Sacatepéquez
Enero	7.7	5.0	8.2	4.1	7.0
Febrero	5.9	3.4	5.9	3.5	4.4
Marzo	5.4	3.1	5.7	4.1	3.9
Abril	4.3	2.3	4.0	4.8	3.2
Mayo	5.2	2.6	3.5		2.5
Junio		2.3	3.2		
Julio		2.1	3.2		
<b>PROM</b>	<b>5.7</b>	<b>3.0</b>	<b>4.8</b>	<b>4.1</b>	<b>4.2</b>
Información disponible a la fecha					

Tabla 2.19 Fuente: Guía del inversionista 2010. Resumen de Mediciones Eólicas. Dirección General de Energía Ministerio de Energía y Minas

De la información anterior, los mejores resultados de las mediciones de viento corresponden a las torres instaladas en San Marcos, San Marcos; Alotenango, Sacatepéquez; Mataquescuintla, Jalapa; Jutiapa, Jutiapa; y Villas Canales Guatemala. Para estos sitios, las mayores velocidades de viento se dieron entre los meses de noviembre a marzo, comportamiento que corresponde a los vientos alisios.

## **CAPÍTULO 3. CÁLCULO DEL POTENCIAL EÓLICO Y EL IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA POR LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.**

### **3.1 Estimación del potencial eólico de los emplazamientos donde existen mediciones del comportamiento del viento.**

A continuación se presenta la metodología empleada para estimar la energía anual generada en los sitios en donde existe información del comportamiento del viento. La Energía Anual Generada es una de las principales informaciones que pueden ser determinadas identificando cual es la energía media anual ofrecida por la turbina. El método empleado para el cálculo de la Energía Anual Generada, fue utilizando la curva de potencia del fabricante. Para ello se seleccionó una turbina marca Vestas V52-850 KW.

La Energía Anual Generada EAG por la turbina, se determinó utilizando la distribución de velocidades de viento multiplicada por la curva de potencia de la turbina corregida. Esta corrección debe de realizarse debido a que la densidad cambia con la altura. En el siguiente gráfico se muestra la curva de potencia del fabricante y la curva corregida de acuerdo a las condiciones del sitio. Para este ejercicio se utilizaron datos de las mediciones de viento de la torre que se encontraba localizada en la aldea El Rodeo, San Marcos, San Marcos, a una altura de 3,340 msnm.

La cuantificación del recurso eólico se puede realizar ajustando el histograma de velocidad por alguna función de densidad de probabilidad o por medio de una distribución de velocidad de viento  $f(v)$ .



AEROGENERADOR: VESTAS V52-850 KW		
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Potencia Corregida (kW)
0.00	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0
3.00	0.0	0.0
4.00	20.8	14.1
5.00	60.1	40.6
6.00	114.6	77.4
7.00	189.4	128.0
8.00	285.6	192.9
9.00	408.7	276.1
10.00	550.5	371.9
11.00	688.7	465.3
12.00	788.7	532.8
13.00	831.3	561.6
14.00	842.0	568.8
15.00	847.0	572.2
16.00	849.5	573.9
17.00	850.0	574.2
18.00	850.0	574.2
19.00	850.0	574.2
20.00	850.0	574.2
21.00	850.0	574.2
22.00	850.0	574.2
23.00	850.0	574.2
24.00	850.0	574.2
25.00	850.0	574.2

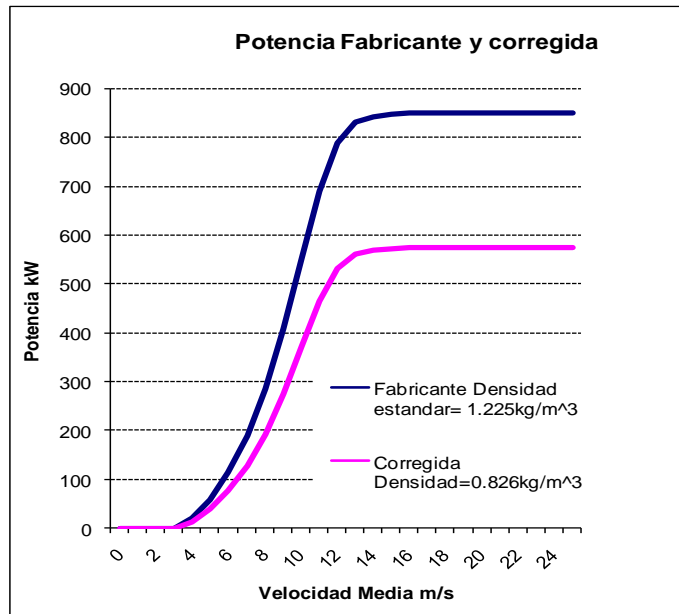


Fig. 3.1 Fuente: Manual Vesta. Turbina V-52-850 Kv.

Tabla 3.1 Fuente: Manual Vesta. Turbina V-52-850 Kv.

La distribución de la frecuencia de la velocidad del viento caracteriza al viento en lugar dado de dos maneras. Primero, determina con qué frecuencia se observa una cierta velocidad del viento en un determinado lugar y segundo, identifica el rango de velocidad del viento observado en dicho lugar.

La distribución de la velocidad del viento es importante porque los sitios con idénticas velocidad promedio del viento, pero diferentes distribución puede

resultar en un recurso eólico disponible sustancialmente diferente. Para la Distribución de la frecuencia de la velocidad del viento es utilizada la función de Distribución de Weibull, ya que ha reportado los mejores resultados. En los cálculos de la EAG se utilizó esta distribución.

Pues bien, teniendo la curva de potencia del aerogenerador y la distribución de velocidades del viento, se puede estimar la energía que suministraría el aerogenerador, en el periodo considerado.

La Energía Anual Generada –EAG- es la sumatoria de los resultados de multiplicar la potencia generada por la turbina por la distribución de velocidades, multiplicada por el número total de horas del año, tal y como se expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{Energía Anual Generada (KWh): } EAG = \sum P(v) \times f(v) \times 8760$$

Para este ejemplo, la *Energía Anual Generada* =  $263.3 \times 8760 = 2,306,690$  KWh

El Factor de capacidad esta está dado por la siguiente expresión:

$$FC = (EAG \times 100) / (\text{Potencia nominal} \times 8760)$$

Para este ejemplo, el Factor de Capacidad es de 30.98%

Velocidad (m/s)	Potencia Generada P(v) [KW]	Distribución de velocidades Frecuencia relativa f(v)	Producto P(v) x f(v)
0.0	0.0	0.0000	0.0000
1.0	0.0	0.0162	0.0000
2.0	0.0	0.0346	0.0000
3.0	0.0	0.0523	0.0000
4.0	14.1	0.0676	0.9501
5.0	40.6	0.0796	3.2301
6.0	77.4	0.0874	6.7645
7.0	128.0	0.0908	11.6194
8.0	192.9	0.0900	17.3727
9.0	276.1	0.0856	23.6360
10.0	371.9	0.0783	29.1217
11.0	465.3	0.0691	32.1383
12.0	532.8	0.0589	31.3623
13.0	561.6	0.0485	27.2429
14.0	568.8	0.0387	22.0138
15.0	572.2	0.0299	17.1134
16.0	573.9	0.0224	12.8556
17.0	574.2	0.0163	9.3410
18.0	574.2	0.0115	6.5788
19.0	574.2	0.0078	4.4946
20.0	574.2	0.0052	2.9793
21.0	574.2	0.0033	1.9163
22.0	574.2	0.0021	1.1961
23.0	574.2	0.0013	0.7246
24.0	574.2	0.0007	0.4260
25.0	574.2	0.0004	0.2431
			<b>263.3</b>

Tabla 3.2 Fuente: Elaboración propia. EAG para diferentes velocidades del viento.

Nota: Las estimaciones de generación de energía anual que se presentan en este capítulo, representan un aproximado, ya que las mismas pueden variar dependiendo de otras variables que no se hayan tomado en cuenta, o del método o programas que se puedan utilizar en estudios mucho más profundos.

Dicho lo anterior, a continuación se presenta el resumen de las estimaciones de las corridas realizadas en cada uno de los sitios en donde se cuenta con mediciones de viento para obtener la Energía Anual Generada y el factor de capacidad, entre otras, utilizando el método anteriormente descrito.

Las mediciones de viento de los sitios utilizada para las estimaciones de la Energía Anual Generada, fueron obtenidas de la Dirección General de

Energía del Ministerio de Energía y Minas, estas mediciones corresponden a un año de medición. Para Comapa y Buenos Aires únicamente se cuentan con la información que se muestra en el cuadro; para otros sitios, como el Proyecto Eólico Ecomina, localizado en Villa Canales, Guatemala y el proyecto Eólico localizado en San Vicente Pacaya, Escuintla, no se pudo conseguir información, pero que se tiene conocimiento que cuentan con estudios de factibilidad.

	Turbina	Potencia KW	No Turbinas	Potencia a instalar MW	GWh x Turbina	EAG GWh	Factor de capacidad %	Producción Anual Estimada AEP
San Marcos, San Marcos	Vestas V52	850	6	5.1	2.23	13.4	30	12.1
Alotenango, Sacatepéquez	Vestas V52	850	4	3.4	1.96	7.8	26.3	7.0
Mataquesuintla, Jalapa	Vestas V52	850	2	1.7	2.1	4.2	28.2	3.8
Jutiapa, Jutiapa	Vestas V52	850	2	1.7	1.6	3.2	21.4	2.9
San Raymundo, Guatemala	Vestas V52	850	6	5.1	1.4	8.4	18.8	7.6
La Concha, Villa Canales, Guatemala	Vestas V90	1800	6	10.8	5.58	33.5	35.4	30.2
Comapa, Jutiapa	Vestas V52	850	10	8.5	2.77	27.7	28	24.9
Buenos Aires, Villa Canales, Guatemala	nd	nd	nd	21	nd	52	nd	46.8
<b>Totales</b>				<b>57.3</b>		<b>150.2</b>		<b>135.2</b>

AEP: Se consideró 10% de pérdidas técnicas del parque eólico.

Tabla 3.3 Fuente: Elaboración propia. Potencia y energía en los sitios con potencial eólico.

### 3.2 Matriz Energética del Sistema Nacional Interconectado 2009

En el cuadro y gráfico que se muestran a continuación se observan que un alto componente de la matriz energética en nuestro país está representando por centrales termoeléctricas (turbinas de vapor, turbinas de gas y motores de

combustión interna), para el año 2009 este porcentaje representa un 48.7%, estas centrales utilizan como combustible bunker, diesel y carbón mineral.

CAPACIDAD INSTALADA SNI 2009		
Tecnología	MW	%
Hidroeléctricas	775.7	35.3
Geotérmicas	44.0	2.0
Turbinas de Vapor	152.5	6.9
Turbinas de Gas	215.9	9.8
Combustión Interna	702.7	32.0
Ingenios	306.5	13.9
<b>TOTAL SNI</b>	<b>2,197.3</b>	<b>100.0</b>

Tabla 3.4 Fuente: Guía del Inversionista 2010. Dirección General de Energía y Minas, Ministerio de Energía y Minas

CAPACIDAD INSTALADA SNI 2009		
Tecnología	MW	%
Hidroeléctricas	775.7	35.3
Geotérmicas	44.0	2.0
Termoeléctricas	1,071.1	48.7
Ingenios	306.5	13.9
<b>TOTAL SNI</b>	<b>2,197.3</b>	<b>100.0</b>

Tabla 3.5 Fuente: Guía del Inversionista 2010. Dirección General de Energía y Minas, Ministerio de Energía y Minas

COMPOSICION DEL PARQUE GENERADOR 2009

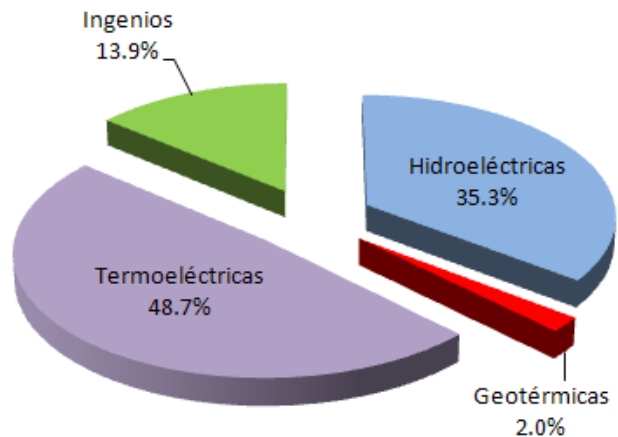


Fig. 3.2 Fuente: Guía del Inversionista 2010. Dirección General de Energía y Minas, Ministerio de Energía y Minas

### 3.3 Matriz energética con el componente de energía eólica

Con los datos de potencia de la sección anterior, a continuación se procederá a estimar el impacto de la generación eólica en la matriz energética del Sistema Nacional Interconectado, para ello, utilizaremos la matriz energética correspondiente al año 2009.

En la siguiente tabla se muestra la incorporación al parque generador de la potencia eólica susceptible de ser aprovechada en nuestro país.

<b>CAPACIDAD INSTALADA SNI 2009</b>		
<b>Tecnología</b>	<b>MW</b>	<b>%</b>
Hidroeléctricas	775.7	34.4
Geotérmicas	44.0	2.0
Turbinas de Vapor	152.5	6.8
Turbinas de Gas	215.9	9.6
Combustión Interna	702.7	31.2
Ingenios	306.5	13.6
Energía eólica	57.3	2.5
<b>TOTAL SNI</b>	<b>2,254.6</b>	<b>100.0</b>

Tabla 3.6 Fuente: Elaboración propia

<b>CAPACIDAD INSTALADA SNI 2009</b>		
<b>Tecnología</b>	<b>MW</b>	<b>%</b>
Hidroeléctricas	775.7	34.4
Geotérmicas	44.0	2.0
Termoeléctricas	1,071.1	47.5
Ingenios	306.5	13.6
Energía Eólica	57.3	2.5
<b>TOTAL SNI</b>	<b>2,254.6</b>	<b>100.0</b>

Tabla 3.7 Fuente: Elaboración propia

En el gráfico que se muestra a continuación aparece el parque generador para el año 2009 con la incorporación del componente de energía eólica.

### COMPOSICION DEL PARQUE GENERADOR 2009

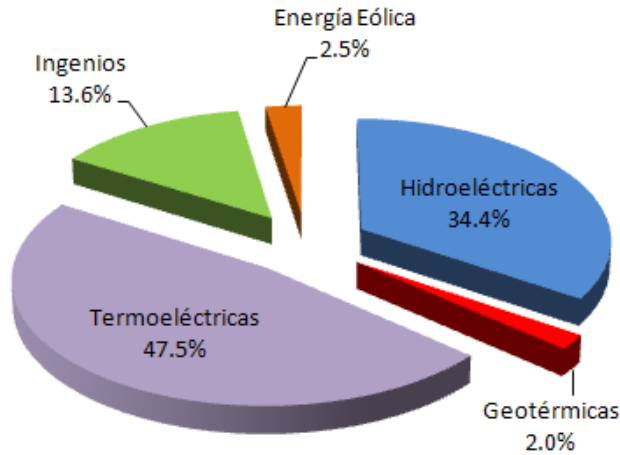


Fig. 3.3 Fuente: Elaboración propia

La potencia instalada que podría adicionarse al parque generador para el escenario que estamos analizando es de 57.3 MW y una energía asociada de 135.2 GWh.

Como puede notarse en el gráfico el porcentaje de participación en el parque generador del Sistema Nacional Interconectado es pequeño, pero conforme se realizan más estudios en el futuro en otros sitios su participación va ir incrementándose. A continuación se presentan las principales ventajas de la utilización de la energía del viento como una energía renovable en la generación eléctrica:

## VENTAJAS DEL USO DE LAS ENERGIAS RENOVABLES

	<b>ENERGIAS RENOVABLES</b>	<b>ENERGIAS NO RENOVABLES</b>
<b>POR SUS CONSECUENCIAS</b>	No producen emisiones de CO <sub>2</sub> y otros gases contaminantes a la atmósfera.	Las energías producidas a partir de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) <b>sí producen contaminación.</b>
<b>POR SU PRODUCCION</b>	Las energías renovables <b>no generan residuos</b> de difícil tratamiento.	Los combustibles fósiles generan residuos que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente.
<b>POR SU USO</b>	Las energías renovables <b>son inagotables.</b>	Los combustibles fósiles <b>son finitos.</b>
<b>POR SU EXISTENCIA</b>	Las energías renovables <b>son autóctonas.</b>	Los combustibles fósiles existen sólo en un número limitado de países.
<b>POR SUS EFECTOS ECONOMICOS</b>	Las energías renovables evitan la dependencia del exterior.	Los combustibles fósiles aumentan las importaciones energéticas.

Tabla 3.8 Fuente: Guía del Subsector Eléctrico y de las Energías Renovables 2010. Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas

Adicionalmente, el uso de la energía eólica en la generación de energía trae como beneficios entre otras, lo siguiente:

- ✓ Reducir la dependencia energética del exterior, ya que los recursos renovables de energía son recursos autóctonos.
- ✓ Ahorrar divisas, porque se estaría disminuyendo la compra de barriles de petróleo.
- ✓ Proteger al medio ambiente, al reducirse la cantidad de contaminantes principalmente de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.
- ✓ Diversificar la oferta energética.
- ✓ Crear fuentes de trabajo.



Finalmente, en nuestro país existen condiciones para aprovechar la energía del viento como recurso energético en la generación de energía pueda ser aprovechada, debido a los siguientes puntos de interés:

### **3.4 Puntos de interés en especial en Guatemala:**

- ✓ Guatemala se encuentra en una posición estratégica.
- ✓ La energía eólica es un recurso disponible en nuestro país, para la producción de electricidad.
- ✓ Existen resultados de la medición del recurso eólico.
- ✓ Existen incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, durante los periodos de pre inversión, ejecución y operación.
- ✓ Existe mercado para la venta de energía para pequeñas y micro centrales generadoras de energía.
- ✓ Es libre la instalación de centrales generación eólica, las cuales no requieren de autorización de ente gubernamental alguno, y sin más limitaciones que las que se den de la conservación del medio ambiente y de la protección a las personas, a sus derechos y a sus bienes. Sin embargo, en cuanto a su actividad como generador de energía eléctrica, se regirá por las disposiciones contenidas en la Ley General de Electricidad y su reglamento.
- ✓ El proceso apunta hacia un desarrollo sostenible.

## CAPÍTULO 4. CÁLCULO EMISIONES EVITADAS DE CO<sub>2</sub> Y SUMIDEROS EQUIVALENTES

Alrededor de las tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas que se han producido en los últimos 20 años en el mundo se deben a las emisiones producto de la quema de combustibles fósiles. El resto se debe fundamentalmente a los cambios en el uso del suelo y, especialmente, a la deforestación.

### 4.1 Efectos del CO<sub>2</sub> en el cambio climático



Fig. 4.1 Fuente: <http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/energia/causas/di-xido-de-carbono>

El cambio climático va unido a un modelo energético dependiente del petróleo, el carbón y el gas. La quema de estos combustibles fósiles libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, el gas de efecto invernadero más abundante.

Las concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub> a nivel mundial se han incrementado un 35% por encima de los niveles pre-industriales. De hecho, las concentraciones actuales de CO<sub>2</sub> no han sido superadas en los últimos 420.000 años y, probablemente, tampoco en los últimos 20 millones de años.

Alrededor de las tres cuartas partes de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas que se han producido en los últimos 20 años en el mundo se deben a la quema de combustibles fósiles. El resto se debe fundamentalmente a los cambios en el uso del suelo, especialmente, a la deforestación.

Actualmente, los océanos y los suelos están absorbiendo en conjunto aproximadamente la mitad de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>. A pesar de esto, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera siguen aumentando en torno a un 0,4% anual.

Greenpeace advierte de la urgencia de reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero en las próximas décadas para prevenir un cambio climático muy peligroso. A nivel mundial, necesitamos reducir a la mitad las emisiones de gases de efecto invernadero para 2050, respecto a los niveles de 1990.

#### **4.1.1 ¿Qué hacer?**

¿Qué se puede hacer para mitigar el cambio climático y disminuir las posibles consecuencias?

- ✓ Las empresas eléctricas, responsables del 24% de la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) deben aumentar su eficiencia, utilizar los combustibles y procesos que emitan menos gases efecto invernadero y aumentar la proporción de energías renovables.
- ✓ Las industrias consumidoras de energía, responsables del 16% de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) deben optimizar sus procesos para aumentar su eficiencia.

- ✓ Fomentar formas de transporte que consuman menos energía por viajante como transporte público, carburantes menos contaminantes, entre otras medias.
- ✓ Fomentar la eficiencia energética de los edificios, y consumir más eficientemente la energía en las oficinas y en el hogar.
- ✓ Aumentar las superficies vegetales que actúan como sumideros, es decir que absorben carbono, evitar la deforestación y aumentar las repoblaciones, especialmente de especies arbustivas.

#### 4.2 Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas con la generación de la energía eólica.

	EAG GWh	Producción anual estimada GWh
San Marcos, San Marcos	13.4	12.1
Alotenango, Sacatepéquez	7.8	7.0
Mataquescuintla, Jalapa	4.2	3.8
Jutiapa, Jutiapa	3.2	2.9
San Raymundo, Guatemala	8.4	7.6
La Concha, Villa Canales, Guatemala	33.5	30.2
Comapa, Jutiapa	27.7	24.9
Buenos Aires, Villa Canales, Guatemala	52	46.8
<b>Total</b>	<b>150.2</b>	<b>135.2</b>

Para el cálculo de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>, se toma de referencia, la energía anual generada –EAG- como si la generación se llevara a cabo con carbón. 1 KWh producido con carbón producen 0,75 kg de CO<sub>2</sub>. Ref.(<http://www.celfosc.org/biblio/clima/kwhco2.htm>) Es un dato aproximado ya que depende del tipo de carbón que se utilice.

$$150.2 \text{ Gwh} = 150200 \text{ Kwh}$$

$$150200 \text{ Kwh} \times 0.75 \text{ kgCO}_2 = 112650 \text{ Kg CO}_2 \\ = 112.7 \text{ Ton CO}_2$$

Las toneladas evitadas de CO<sub>2</sub> debido a la generación de energía eólica, serían 112.7 Toneladas por año.

Tabla 4.1 Fuente: Elaboración propia

## **4.3 Cálculo de un sumidero equivalente a la emisión de CO<sub>2</sub>evitado**

### **4.3.1 Definición de Sumidero**

En términos generales, un sumidero de carbono o sumidero de CO<sub>2</sub> es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> del aire.

Un sumidero de carbono no tiene por objeto reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino de disminuir su concentración en la atmósfera.

Se entiende por sumidero “cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera” (Naciones Unidas, 1992). Los elementos capaces de generar este flujo de carbono desde la atmósfera son el suelo, los océanos y los bosques; pero la fijación de carbono por parte de los océanos, además de ser difícil de contabilizar, no depende directamente de la actividad humana, por lo que el Protocolo de Kyoto considera como sumideros, a tener en cuenta en las variaciones de emisiones, las actividades de uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura; son las conocidas como actividades LULUCF (Land-Use, Land-Use Change and Forestry).

### **4.3.2 Tipos de sumideros**

Se ha comprobado que los océanos del mundo absorben aproximadamente un tercio de los incrementos de CO<sub>2</sub> atmosférico (Siegenthaler y Sarmiento, 1993), lo que hace que constituyan el sumidero de carbono más importante. El gas se incorpora bien como gas disuelto o bien en los restos de diminutas criaturas marinas que caen al fondo para convertirse en creta o piedra caliza. La escala temporal de ambos procesos es diferente, y tiene su origen en el ciclo del carbono. La incorporación de dicho gas al océano plantea problemas ecológicos por la acidificación del mismo.

Las mejores opciones actuales para el almacenamiento son las basadas en el secuestro geológico, es decir el almacenamiento en viejos yacimientos petrolíferos que ya han visto acabada su mejor época, los depósitos de gas natural, los acuíferos salinos profundos y las vetas de carbón no explotables, a profundidades en el subsuelo que van desde varios cientos de metros hasta algunos miles.

El dióxido de carbono se bombea hacia el interior de la tierra a través de los pozos, como los utilizados para extraer petróleo, y se disuelve o dispersa en el depósito.

Los bosques y las plantas, y en general las formaciones vegetales, actúan como sumideros a través de su función vital principal: la fotosíntesis. Mediante la fotosíntesis los vegetales captan  $\text{CO}_2$  de la atmósfera o el que se encuentra disuelto en el agua y, con la ayuda de la luz solar, lo utilizan en la elaboración de moléculas sencillas de azúcares que acumulan en la biomasa (tronco, ramas, corteza, hojas y raíces) y en el suelo (mediante su aporte orgánico). Las plantas, al mismo tiempo que absorben  $\text{CO}_2$  a través de la fotosíntesis, también lo emiten mediante su respiración, pero en menor cantidad, por lo que el saldo neto de emisión es negativo, contribuyendo así a la reducción de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a través de los denominados reservorios de carbono.

El almacenamiento de carbono por parte de los árboles no es uniforme a lo largo de su vida, sino que está en relación directa con su crecimiento: dado que aproximadamente el 50 por ciento de la biomasa está formada por carbono.

Sin embargo es preciso matizar que el almacenamiento del carbono en los bosques tiene un carácter temporal, ya que el  $\text{CO}_2$  almacenado en la

biomasa vuelve a la atmósfera con la deforestación. La tala del bosque tiene repercusiones muy diferentes a las de los incendios en cuanto a almacenamiento de carbono. En el caso de la tala es preciso considerar el destino de la madera procedente de la deforestación, siendo muy distintas las repercusiones en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Consideraremos únicamente las dos opciones más importantes y que están ligadas al motivo de la tala: la quema in situ y el aprovechamiento de la madera.

En el caso de los incendios forestales, a través de los cuales la combustión de la biomasa, devuelve a la atmósfera de forma instantánea el carbono que el bosque tardó muchos años en acumular; por esta razón, los incendios forestales están considerados como una importante fuente de emisión y pueden contrarrestar el papel de sumidero de los bosques, hasta convertir al sector forestal no solo en no mitigador de los gases de efecto invernadero, sino en emisor neto.

Pero la mayor parte del carbono almacenado por los bosques se encuentra en los suelos: según distintas fuentes, el suelo de los bosques almacena entre 1,5 (US Environmental Protection Agency) y 2,5 (IPCC 1994) veces más carbono que la vegetación.

El almacenamiento del carbono en el suelo se produce a través de la formación y descomposición de la materia orgánica. La hojarasca, pequeñas ramas y restos de cortas se depositan en el suelo y se van descomponiendo, formando la materia orgánica activa que, en función del tipo de suelo, la cantidad de agua y de otros nutrientes se irá convirtiendo en materia orgánica estable, capaz de almacenar el carbono durante milenios. De esta forma, los suelos constituyen un sumidero permanente, frente a la biomasa forestal que tiene un carácter temporal.

Muchos esfuerzos de investigación se han centrado alrededor de los dilemas del cambio climático y el papel de los sistemas de uso de la tierra en la temática. La generación de valores de fijación de carbono en sistemas de uso de la tierra se ha hecho tanto en el nivel científico como en el nivel más técnico relativo al desarrollo de proyectos de mitigación.

La literatura y las experiencias en el desarrollo de proyectos reportan diferentes maneras de enfrentar la obtención de números para el potencial de fijación de carbono. Algunas experiencias exitosas en el desarrollo de proyectos de mitigación han abordado el tema de los valores de fijación tomando valores de la literatura y haciendo una serie de suposiciones que les permite calcular potencial de fijación. Estos esfuerzos se podría decir estiman los valores de carbono, obteniendo valores razonables pero que necesitan verificación de campo. Otras experiencias han optado por recurrir a mediciones físicas para obtener los valores de fijación. Estos esfuerzos miden el potencial de fijación de carbono usando métodos de inventarios forestales. Tanto estimar como medir el potencial de fijación es un proceso válido y a la fecha, ambos han producido resultados exitosos en el sentido de que proyectos preparados con ambos métodos han sido considerados aptos para recibir financiamiento.

Fundación solar acá en Guatemala ha realizado varios muestreos, entre los que podemos mencionar para bosques latifoliados y mixtos, en sistema agroforestal de producción de café. Bosques de coníferas y nuboso en el departamento de Chiquimula, y caracterización vegetal y de suelos de bosque secundarios en la reserva de la Biosfera maya en Petén y en cultivos de hule, que se tomó como referencia en esta investigación.

En mayo de 1999, Fundación Solar desarrolló un pre muestreo del carbono fijado por las plantaciones de hule, en Guatemala, para determinar el



valor de fijación que tiene este sistema productivo. Esta pequeña investigación se hizo para la Gremial de Huleros de Guatemala con financiamiento del Instituto Nacional de Bosques. Un total de 6 parcelas circulares de 500 metros cuadrados fueron establecidas. En las parcelas se midió el DAP\* de los árboles, se colectó maleza, hojarasca y suelo. Los valores de fijación de carbono obtenidos con este pre muestreo son los siguientes:

Arboles	Hojarasca	Maleza	Suelos	Raíces	Total
75	4	0	50	16	145

*Tabla 4.2 Fuente:Fundación Solar, 1999. Perfil técnico de proyecto de fijación de carbono en plantaciones de hule. Fundación Solar. Guatemala. Valores para el Carbono fijado por el sistema de cultivo de hule en Guatemala (tC/ha)*

Los resultados del pre muestreo indican que el cultivo de hule contiene unas 145 toneladas de carbono por hectárea (con un rango de  $\pm 15$  toneladas). Estos valores representan el resultado obtenido en plantaciones cuyos árboles tienen al menos 5 años en su etapa productiva. Es importante notar que la fuente de mayor importancia como contribuyente al carbono fijado son los árboles y si se desea optimizar el esfuerzo de inventario se podría considerar medir únicamente árboles y en vez de usar parcelas podrían hacerse transectos dentro de las plantaciones. Estos valores fueron generados utilizando una ecuación genérica para árboles.

Una de las recomendaciones que Fundación Solar hizo a la Gremial de Huleros de Guatemala consiste en desarrollar una ecuación de biomasa específica para hule.

La cantidad de CO<sub>2</sub> que puede fijar una plantación, son unas 20 toneladas por hectárea y año, aunque esta cifra varía de unas especies a otras. (<http://www.portalforestal.com/informacion.html>)

*\*Diámetro a la altura del pecho (DAP): es el diámetro del árbol a 1,30m de altura sobre el nivel del suelo.*

Tomando como base la información anterior, de Fundación Solar, ya que es un estudio para una especie nativa de Guatemala y sabiendo que el carbono evitado por la generación de energía eólica es de 112.7 ToneladasCO<sub>2</sub>/año, y tomando como referencia los datos para una plantación nativa de hule que atrapa 145 toneladas por hectárea en un tiempo de 5 años, tenemos que anualmente atraparía 29 toneladas por hectárea.

El área del sumidero equivalente correspondiente a una plantación de hule sería:

$$\frac{112.7 \text{ Ton CO}_2}{29 \text{ Ton /Hectarea}} = 3.9 \text{ Hectareas}$$

#### **4.4 Cálculo de barriles equivalentes de petróleo ahorrados**

El barril equivalente de petróleo (BEP) es una unidad de energía equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril aproximadamente (42 galones estadounidenses o 158,9873 litros) de petróleo crudo. El Servicio de Impuestos Internos estadounidense lo define equivalente a  $5,8 \times 10^6$  BTU. El valor es necesariamente una aproximación, pues las diferentes calidades de aceite de calefacción tienen valores ligeramente distintos.

Un barril de petróleo equivale a  $6,1178632 \times 10^9$  J o 1,7 MWh.

Energía anual generada 150.2MWh

$$150.2 \text{ Mwh} \times 1.7 \text{ Mwh} = 255.34 \text{ Barriles de petroleo equivalentes}$$



## CONCLUSIONES

1. De la hipótesis planteada inicialmente, se comprueba que el aporte de la energía eólica a la matriz energética no es significativo.
2. La contribución a la matriz energética de la energía eólica posible de instalar sería de 57.3 MW, lo que representa el 2.5% del total de dicha matriz.
3. La mayor parte de las lecturas del comportamiento del viento en el país, se realizaron a 30 m de altura.
4. El CO<sub>2</sub> que evitaría la generación eólica sería del orden de 112.7 toneladas anuales.
5. El sumidero equivalente de carbono, tomando como referencia una plantación de hule, será de 3.9 hectáreas, ello para depurar las 112.7 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> establecido en la investigación.
6. Los barriles equivalentes de petróleo –BEP- ahorrados, si se generan 150.2 GWH serían de 255.34, que al costo de U\$ 85.00 por barril actualmente, resulta un monto de U\$ 21,703.9 anuales.
7. Existen estudios de factibilidad para otros puntos del territorio nacional, pero estos están en manos de empresas particulares, que son muy celosas de la información.

## RECOMENDACIONES

Al Ministerio de Energía y Minas:

1. Realizar lecturas del comportamiento del viento a una altura mayor de los 30 m, puesto que se tiene una mayor velocidad del viento.
2. Alargar los periodos de medición del comportamiento del viento, más allá de los dos años en los cuales se realizan actualmente, debido a la variación por el cambio climático.
3. Establecer un mecanismo de entendimiento entre el Ministerio de Energía y Minas –MEM- con las personas o empresas interesadas en invertir en energía eólica con el objeto de trabajar de común acuerdo.
4. Especializar al personal del departamento de energías renovables de la Dirección General de Energía y Minas del MEM, en energía eólica con expertos de la región que manejen parques eólicos, esto es, de América Central, el Caribe y México.
5. Propiciar una mayor colaboración con el MEM y entidades privadas con la Universidad de San Carlos en cuanto a estudios y proyectos de energía y medio ambiente, para la búsqueda de soluciones de energía limpia y renovable de cara al futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Política energética de Guatemala 2010.** Ministerio de energía y Minas de Guatemala.
2. **Resumen de mediciones del proyecto de torres de medición eólica.** Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía. 2009
3. **El viento en Guatemala.** Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas
4. **Tendencias tecnológicas y aplicaciones de la energía eólica para la generación eléctrica.** Olade, curso capev 7 2010.
5. **Guía del inversionista 2010.** Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. C.A.
6. **Guía del inversionista 2007.** Ministerio de Energía y Minas. Guatemala C.A.
7. **Elementos técnicos para inventarios de carbono en uso del suelo.** Fundación Solar. Guatemala. Mayo 2000.

## E-GRAFIA

1. <http://www.talentfactory.dk/es/tour/wres/index.htm>
2. <http://elblogverde.com/energia-eolica/>
3. <http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/energ-a/causas/di-xido-de-carbono>
4. <http://www.ecojoven.com/seis/10/co2.html>

5. <http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/energ-a/causas/di-xido-de-carbono>
6. [http://es.wikipedia.org/wiki/Barril\\_equivalente\\_de\\_petr%C3%B3leo](http://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo)
7. <http://www.portalforestal.com/informacion.html>
8. [http://www.eup.uva.es/emisionesco2/ELCAMBIOCLIMATICO\\_LOSSUMIDEROSDECARBONOYELPNAENCASTILLAYLEON/7.Lossumiderosdecarbono.htm](http://www.eup.uva.es/emisionesco2/ELCAMBIOCLIMATICO_LOSSUMIDEROSDECARBONOYELPNAENCASTILLAYLEON/7.Lossumiderosdecarbono.htm)
9. [http://www.amazings.com/ciencia/articulos/secuestrando\\_el\\_CO2.html](http://www.amazings.com/ciencia/articulos/secuestrando_el_CO2.html)
10. [http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio\\_clim%C3%A1tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_clim%C3%A1tico)

## ANEXO

PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA		FECHA DE INSTALACIÓN	UBICACIÓN		COMBUSTIBLE
		DE PLACA MW	EFFECTIVA AL SISTEMA MW		MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	
<b>SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL</b>		<b>2,365.3</b>	<b>2,067.22</b>				
<b>HIDROELÉCTRICAS</b>		<b>774.1</b>	<b>701.15</b>				
CHIXOY	5	300.0	271.80	27 de noviembre de 1983	San Cristóbal	Alta Verapaz	N.A.
AGUACAPA	3	90.0	79.43	22 de febrero de 1982	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa	N.A.
JURÚN MARINALÁ	3	75.0	60.85	12 de febrero de 1970	Palín	Escuintla	N.A.
RENACE	3	68.1	66.34	marzo de 2004	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	N.A.
EL CANADÁ	2	48.1	47.40	noviembre de 2003	Zunil	Quezaltenango	N.A.
LAS VACAS	3	45.7	37.26	mayo de 2002	Chinautla	Guatemala	N.A.
SECACAO	1	16.5	16.17	julio de 1998	Senahú	Alta Verapaz	N.A.
LOS ESCLAVOS	2	15.0	13.82	17 de agosto de 1966	Cuilapa	Santa Rosa	N.A.
MONTECRISTO	2	13.5	13.43	mayo de 2006	Zunil	Quezaltenango	N.A.
PASABIEN	2	12.8	10.38	22 de junio de 2000	Río Hondo	Zacapa	N.A.
MATANZAS	1	12.0	11.70	1 de julio de 2002	San Jerónimo	Baja Verapaz	N.A.
POZA VERDE	3	12.5	10.15	22 de junio de 2005	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa	N.A.
RIO BOBOS	1	10.0	10.64	10 de agosto de 1995	Quebradas, Morales	Izabal	N.A.
SANTA MARÍA	3	6.0	5.03	25 de junio de 1927	Zunil	Quezaltenango	N.A.
PALÍN 2	2	5.8	4.94	julio de 2005	Palín	Escuintla	N.A.
CANDELARIA	1	4.6	4.52	mayo de 2006	Senahú	Alta Verapaz	N.A.
SAN ISIDRO	2	3.9	3.94	julio de 2002	San Jerónimo	Baja Verapaz	N.A.
EL CAPULÍN	2	3.5	3.20	1990	Siquinalá	Escuintla	N.A.
EL PORVENIR	1	2.3	2.21	septiembre de 1968	San Pablo	San Marcos	N.A.
EL SALTO	2	2.0	2.00	1938	Escuintla	Escuintla	N.A.
CHICHAÍC	2	0.6	0.46	26 de julio de 1979	Cobán	Alta Verapaz	N.A.
SAN JERÓNIMO	1	0.3	0.20	18 de diciembre de 1996	San Jerónimo	Baja Verapaz	N.A.
EL RECREO	1	26.0	25.51	Jul-07	El Palmar	Quezaltenango	N.A.

Fuente: Administrador del mercado mayorista



TERMOELÉCTRICAS		1591.2	1,366.07				
<b>TURBINAS DE VAPOR</b>		<b>173.0</b>	<b>151.75</b>				
SAN JOSÉ	1	139.0	132.99	01 enero de 2000	Masagua	Escuintla	Carbón
DARSA	1	1.5	0.86	2004	Santa Lucía Cotz.	Escuintla	N.A.
LA LIBERTAD	1	20.0	13.36	17 Agosto 2008	Villa Nueva	Guatemala	Carbón
ARIZONA VAPOR	1	12.5	4.54	29 Septiembre 2008	Puerto San José	Escuintla	Bunker
<b>TURBINAS DE GAS</b>		<b>250.9</b>	<b>165.28</b>				
TAMPA	2	80.0	78.34	1995	Escuintla	Escuintla	Diesel
STEWART & STEVENSON	1	51.0	23.74	24 de diciembre de 1995	Escuintla	Escuintla	Diesel
ESCUINTLA GAS 3	1	35.0	18.85	1976	Escuintla	Escuintla	Diesel
ESCUINTLA GAS 5	1	41.9	18.92	noviembre de 1985	Escuintla	Escuintla	Diesel
LAGUNA GAS 1	1	17.0	10.35	1978	Amatitlán	Guatemala	Diesel
LAGUNA GAS 2	1	28.0	17.07	1978	Amatitlán	Guatemala	Diesel
<b>MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA</b>		<b>746.7</b>	<b>712.66</b>				
ARIZONA	10	160.0	157.76	abril/mayo 2003	Puerto San José	Escuintla	Bunker
POLIWATT	7	129.4	125.40	mayo de 2000	Puerto Quetzal	Escuintla	Bunker
PUERTO QUETZAL POWER	20	118.0	114.73	1993	Puerto Quetzal	Escuintla	Bunker
LAS PALMAS	5	88.8	86.39	septiembre de 1998	Escuintla	Escuintla	Bunker
GENOR	4	46.2	41.45	octubre 1998	Puerto Barrios	Izabal	Bunker
SIDEGUA	10	44.0	38.26	1995	Escuintla	Escuintla	Bunker
INDUSTRIA TEXTILES DEL LAGO	10	71.0	69.96	1996	Amatitlán	Guatemala	Bunker
GENERADORA PROGRESO	6	22.0	21.37	1993	Sanarate	El Progreso	Bunker
ELECTRO GENERACIÓN	2	15.8	15.97	noviembre de 2003	Amatitlán	Guatemala	Bunker
GECSA	2	15.7	15.23	25 de febrero de 2007	Chimaltenango	Chimaltenango	Bunker
GECSA 2	2	37.8	31.56	12 Octubre 2008	Chimaltenango	Chimaltenango	Bunker
COENESA	5	10.0	4.71	Septiembre de 2008	El Estor	Izabal	Diesel
ELECTRO GENERACIÓN CRISTAL BUNKER	2	10.0	9.89	2005*	Santa Elena	Petén	Bunker

Fuente: Administrador del mercado mayorista

<b>INGENIOS AZUCAREROS</b>		<b>371.5</b>	<b>300.17</b>				
MAGDALENA	Varias	90.0	71.14	1994	La Democracia	Escuintla	Biomasa/Bunker
MAGDALENA EXCEDENTES	Varias	41.0	35.54	2005-2006	La Democracia	Escuintla	Biomasa
PANTALEÓN	Varias	35.0	29.80	1991	Siquinalá	Escuintla	Biomasa/Bunker
PANTALEÓN EXCEDENTES	Varias	20.0	17.41	2005	Siquinalá	Escuintla	Biomasa
LA UNIÓN	Varias	40.0	31.34	1995	Santa Lucía Cotz.	Escuintla	Biomasa/Bunker
LA UNION EXCEDENTES	1	10.0	5.64	2009	Santa Lucía Cotz.	Escuintla	Biomasa
SANTA ANA	Varias	40.0	35.43	1995	Escuintla	Escuintla	Biomasa/Bunker
MADRE TIERRA	Varias	28.0	21.24	1996	Santa Lucía Cotz.	Escuintla	Biomasa/Bunker
CONCEPCIÓN	Varias	27.5	26.72	1994	Escuintla	Escuintla	Biomasa/Bunker
TULULÁ	2	19.0	13.66	febrero de 2001	Cuyotenango	Suchitepequez	Biomasa/Bunker
TRINIDAD	1	16.0	11.14	febrero de 2009	Masagua	Escuintla	Biomasa
SAN DIEGO	1	5.0	1.10	diciembre de 2004	Escuintla	Escuintla	Biomasa
<b>GEOTÉRMICA</b>		<b>49.2</b>	<b>36.22</b>				
ZUNIL	7	24.0	16.11	4 de agosto de 1999	Zunil	Quezaltenango	N.A.
ORTITLAN	1	25.2	20.11	01 Julio 2007	San Vicente Pacaya	Escuintla	N.A.

\* Integrada AMM 31 mayo de 2009

N/A = NO APLICA

	Datos de Placa	Efectiva
<b>CAPACIDAD INSTALADA GESTION AMM (MW)</b>	<b>940.85</b>	<b>852.42</b>
HIDRO	252.99	235.56
TERMICO	687.85	616.87

Fuente: Administrador del mercado mayorista