



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO TÉCNICO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA POR MEDIO DE AEROGENERADORES EN EL MUNICIPIO DE  
PUERTO BARRIOS**

**LUIS PEDRO VASSAUX CASTRO**

**Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez**

**Guatemala, abril de 2004**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO TÉCNICO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA POR MEDIO DE AEROGENERADORES EN EL MUNICIPIO DE  
PUERTO BARRIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentado a Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

POR

**LUIS PEDRO VASSAUX CASTRO**

**Asesorado por Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez**

Al conferírsele el título de

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA**

Decano:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Vocal I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
Vocal III:	Ing. Julio David Galicia Celada
Vocal IV:	Br. Keneth Issur Estrada Ruiz
Vocal V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
Secretario:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

Decano:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Examinador:	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
Examinador:	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
Examinador:	Ing. Carlos Eliseo Flores Rodríguez
Secretario:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ESTUDIO TÉCNICO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE AEROGENERADORES EN EL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 28 de noviembre de 2003.

Luis Pedro Vassaux Castro

## **ACTO QUE DEDICO:**

### **A DIOS**

Por las bendiciones recibidas en mi vida

### **A MIS PADRES**

Dr. Roberto Vassaux Singer

Licda. Norma Castro de Vassaux

Por su ejemplo, amor y apoyo incondicional

### **A MIS HERMANOS**

Carlos Alberto, Roberto y Debbie

Con quienes he tenido la dicha de compartir  
mi transitar por la vida

### **A MIS ABUELOS**

Dr. Alberto Vassaux Méndez (Q.E.P.D.)

Ruth Singer de Vassaux (Q.E.P.D.)

Oscar Alberto Castro Iriarte (Q.E.P.D.)

Carmen Moreno de Castro

Orgullosa ejemplo para mi vida

### **A MI FAMILIA EN GENERAL,**

#### **EN ESPECIAL A**

Juancarlos Chacón Solares

Almarosa Castro de Chacón

Por su cariño y apoyo

### **A MIS AMIGOS**

Por su valiosa amistad y apoyo durante toda  
mi carrera

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez; por la asesoría brindada a mi trabajo de graduación.

Al ingeniero Oscar Francisco Castro Moreno; por su orientación y apoyo especial brindada durante mis estudios universitarios.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>IV</b>
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>VI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>VII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>X</b>
<b>1. HISTORIA DEL RECURSO EÓLICO</b>	
1.1 Historia y estado de la energía eólica	1
1.1.1 Retrospectiva sobre la energía eólica	2
1.1.2 Estado actual de la energía eólica	3
1.2 El recurso eólico	5
1.2.1 Origen del viento	5
1.2.2 Estimación del recurso	6
<b>2. FUNCIONAMIENTO, COMPONENTES Y APLICACIONES</b>	
2.1 Funcionamiento y componentes	9
2.1.1 Transformación de la energía	9
2.1.2 Componentes	10
2.2 Aplicaciones	14
2.2.1 Aplicaciones mecánicas	14
2.2.2 Sistemas eléctricos aislados	16
2.2.3 Sistemas eléctricos conectados en la red	18

### **3. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS**

3.1 Demografía del departamento de Izabal	21
3.1.1 Características principales del departamento Izabal	21
3.1.2 Monografía del municipio de puerto barrios, Izabal	36
3.2 Análisis de vientos de puerto barrios	42
3.2.1 Velocidades y direcciones de los vientos que oscilan en el departamento de Puerto Barrios	42
3.2.2 Gráficos del análisis de vientos	44
3.2.3 Mapa eólico del municipio de Puerto Barrios, Izabal	45

### **4. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA**

4.1 Costos de un aerogenerador	47
4.1.1 Economías a escala	48
4.1.2 Máquinas típicas de 600 kW. en el mercado actual	49
4.2 Costos de la instalación de los aerogeneradores	50
4.2.1 Los costos de Instalación	51
4.3 Costos de operación y de mantenimiento en aerogeneradores	52
4.3.1 Costes de operación y mantenimiento	52
4.4 Ingresos en aerogeneradores	53
4.4.1 Producción de energía en un Aerogenerador	53
4.4.2 Factor de disponibilidad	54
4.5 Energía eólica y tarifas eléctricas	55



4.6 Economía básica de inversiones	58
4.7 Aspectos económicos de la energía eólica	60
<b>5. DISEÑO DE UN PARQUE EÓLICO MODELO PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS</b>	
5.1 Configuración del sistema eléctrico	
aislado de la red	63
5.1.1 Especificaciones del aerogenerador	63
5.1.2 Costos del equipo	68
5.1.3 Costos de instalación	69
5.1.4 Costos de mantenimiento	69
5.2 Distribución de los aerogeneradores	70
5.3 Potencia nominal generada	72
5.3.1 Curvas de potencia instantánea y rendimiento	73
<b>CONCLUSIONES</b>	75
<b>RECOMENDACIONES</b>	76
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	77

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Molino de eje vertical tipo chino	2
2. Molino tipo Mediterráneo	2
3. Parque eólico Tilirán, Costa Rica	4
4. Torres eólicas Tilirán, Costa Rica	8
5. Componentes de una turbina eólica	13
6. Molino típico para bombeo de agua	15
7. Turbina pequeña aislada a la red	17
8. Esquema de un sistema aislado	17
9. Parque eólico en Tilirán, Costa Rica	20
10. Velocidad promedio del viento	44
11. Velocidades de los vientos en Centro América	45
12. Mapa eólico del departamento de Izabal	46
13. Costos de un aerogenerador	47
14. Parque eólico de Nova en construcción	50
15. Costos de instalación de un aerogenerador	51
16. Producción promedio	53
17. Costo de la electricidad, turbina de 600kW	60
18. Costo de la electricidad, turbina de 600kW relacionado A la velocidad del viento	61
19. Esquema de distribución de los aerogeneradores	71
20. Energía mensual producida (KWh.)	72
21. Producción de la turbina (watts)	73

## TABLAS

I. Población total censada, locales de habitación particulares	39
II. Características de la población	39
III. Población por grupos de edades	40
IV. Población por área	40
V. Condición según el tipo de habitación	41
VI. Tipo de local	41
VII. Análisis de los vientos de enero a junio	42
VIII. Análisis de los vientos de julio a diciembre	43
IX. Costos del equipo	68
X. Consumo generado de una vivienda	74

## SIMBOLOGÍA

A	Amperio
CA	Corriente alterna
Ah	Amperio-hora
CD	Corriente directa
hz.	Hertz
km/s	Kilómetros por segundo
kW.	(1000 vatios)
kWh.	Kilovatio hora
mm	Milímetros
m/s	Metros por segundo
V	Voltios (el monto de “presión” de electricidad)
W	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)

## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Es la unidad básica de intensidad de corriente eléctrica
<b>Cargas</b>	Son los agentes físicos encargados de determinar la existencia de fuerzas eléctricas en todos los cuerpos.
<b>Corriente directa</b>	Es aquella en donde los electrones circulan en una sola dirección, es la que se encuentra en una batería.
<b>Corriente alterna</b>	Es aquella que los electrones circulan en una forma senoidal, es forma es más economicamete para aumentar o disminuir su voltaje.
<b>Corriente eléctrica</b>	Es aquella que fluyen una misma dirección, sin cambiar de polaridad, puede cambiara de intensidad.
<b>Mandioca</b>	Es un arbusto originario de América, que abunda en la zona tropical.
<b>Potencia</b>	Es la capacidad de hacer trabajo en un tiempo determinado. Para el efecto electrónico, es la capacidad de hacer pasar un flujo de corriente por una resistencia.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar un estudio técnico de factibilidad de generación de la energía eléctrica por medio de aerogeneradores verticales en el municipio de Puerto Barrios.

### **ESPECÍFICOS**

1. Determinar la fuerza y la dirección del viento para la generación de energía eléctrica.
2. Establecer el costo de funcionamiento y operación de un campo eólico.
3. Dar a conocer las ventajas y desventajas de generación con aerogeneradores verticales.
4. Determinar el funcionamiento y el mantenimiento de los componentes de los aerogeneradores verticales para la generación eléctrica.

## RESUMEN

El presente estudio técnico de factibilidad del uso de aerogeneradores en el municipio de Puerto Barrios, nos muestra la factibilidad de generar energía eléctrica por turbinas de aire llamadas también módulos eólicos. El principal objetivo de este estudio es describir las facilidades que brinda el uso de estos dispositivos como un medio alternativo de generar energía eléctrica.

El capítulo 1 presenta una breve reseña histórica del estado actual de la energía eólica en el mundo y el recurso eólico disponible en la actualidad.

En el capítulo 2 se describen los componentes de una turbina eólica y el funcionamiento de las mismas; así como las aplicaciones que utilizan este tipo de energía y los sistemas energéticos donde puede ser aplicado.

En el capítulo 3 se identifican las características más importantes del departamento de Izabal, así como la monografía del municipio de Puerto Barrios, se cuenta con un análisis de vientos del municipio y un mapeo eólico del departamento.

El capítulo 4 muestra los aspectos económicos de la energía eólica como los son los costos del aerogenerador, los costos de instalación y funcionamiento de un sistema eólico.

Por último, en el capítulo 5 se especifica el diseño de una instalación eólica en el municipio de Puerto Barrios, se describen los elementos que formaran parte del sistema eólico y la inversión necesaria para el funcionamiento del mismo.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los sistemas alternativos de generación eléctrica que tiene un bajo impacto ambiental es el que utiliza aerogeneradores verticales u horizontales; al utilizar este método tenemos un sistema de generación cuya fuente de energía renovable, la velocidad del viento es utilizada para la producción de energía eléctrica; de una forma limpia y segura para el medio ambiente ya que no provoca contaminación por medio de gases tóxicos como en el caso de la energía producida por motores de combustión interna.

El uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica es más frecuentes en los países industrializados como Estados Unidos, Dinamarca que es un país productor de aerogeneradores de energía eléctrica.

En Guatemala se han iniciado estudios sobre la factibilidad para generar energía eléctrica por medio de aerogeneradores; este estudio muestra la probabilidades de generar electricidad en Puerto Barrios pues las condiciones climáticas son favorables para la generación de electricidad a un bajo costo.



# 1. HISTORIA Y RECURSO EÓLICO

## 1.1 Historia y estado de la energía eólica

El aprovechamiento del viento para la generación eléctrica a gran escala es la tecnología de energía renovable que más ha crecido en las últimas décadas, con porcentajes de uso del 40% por año, desde 1993. Además de este uso, el viento se puede aprovechar para aplicaciones mecánicas y electrificación de sitios aislados. En general, se pueden distinguir tres diferentes tipos de aplicaciones, las cuales se discuten en detalle en los siguientes capítulos:

- Aplicaciones mecánicas, por ejemplo bombeo de agua y molino de granos.
- Generación eléctrica en sistemas aislados, para usos productivos y viviendas rurales en áreas remotas.
- Generación eléctrica a gran escala conectada al sistema nacional interconectado.

### 1.1.1 Retrospectiva sobre la energía eólica

La fuerza del viento se ha aprovechado durante muchos siglos. Su primera y más sencilla aplicación, desde hace más de 500 años, hecha por los egipcios, fue el uso de las velas en la navegación. Los primeros mecanismos impulsados por el viento fueron molinos de eje vertical, usados para bombeo de agua en China. Los de eje horizontal surgieron en el área de la antigua Persia; por ejemplo, el molino tipo mediterráneo, con su característico rotor a vela, el cual se utilizó para moler granos y bombear agua en todos los territorios de influencia islámica.

Figura 1. Molino de eje vertical tipo chino

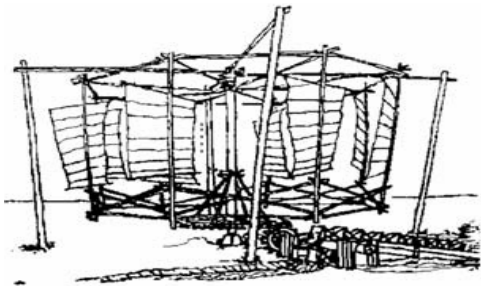
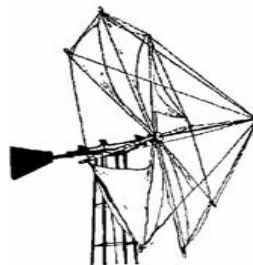


Figura 2. Molino tipo mediterráneo



Durante los primeros años del siglo XX, pequeños molinos eólicos servían para el bombeo de agua y generación eléctrica en Europa, Norteamérica y otros lugares. Posteriormente, se empezaron a construir sistemas más grandes.

Sin embargo, debido a una mayor oferta de combustibles fósiles para generación de electricidad (como carbón mineral y petróleo) y aplicaciones industriales, se frenó fuertemente su desarrollo en el siglo pasado.

En los años setenta, el aumento de los precios de los combustibles fósiles estimuló la generación de la energía eólica como una fuente alternativa económicamente viable. En todo el mundo surgieron programas de investigación y desarrollo que resultaron en sistemas eólicos modernos con costos cada vez más bajos.

### **1.1.2 Estado actual de la energía eólica**

Hoy, la tecnología de los aerogeneradores de mediana y pequeña potencia (500 kW) está madura, por lo que se pueden adquirir en el mercado mundial más de veinte diferentes fabricantes. En 2001, la capacidad eólica instalada en el ámbito mundial alcanzó un récord de 23.300 MW. La tecnología eólica se encuentra en posición de hacer una importante contribución al suministro mundial de energía para los próximos años. Actualmente, es una de las fuentes alternativas más económicas y aunque los cálculos varían mucho, sólo en Estados Unidos, se considera que se tiene el potencial de proporcionar entre 10% y 20% del suministro doméstico. Las turbinas proporcionan una buena cantidad de energía comercial en California, Europa e India; mientras que en otros países se utilizan en muchas otras aplicaciones. Hoy día, Dinamarca es el principal poseedor de parques eólicos, suministrando el 13 % de la demanda eléctrica de ese país.

En América Latina y el Caribe experiencias como las de Curazao con un parque eólico de 9 MW, que supe el 7% de la demanda nacional; Argentina con varios parques que generan 14 megavatios o Brasil con 20 MW, han logrado posicionar el desarrollo de la tecnología eólica en la región. Países como República Dominicana y Barbados han realizado estudios de viabilidad que determinen su potencial eólico como una alternativa para mejorar el suministro nacional de energía. En América Central existen lugares con gran potencial para la generación eólica. En el caso de Costa Rica la generación por medio de parques eólicos es de 71 MW, abasteciendo el 2% de la demanda nacional. En los otros países de la región ya se han levantado mapas eólicos que identifican posibles lugares con potencial de generación y que permitirán a los desarrolladores de proyectos incursionar en el negocio de la venta de energía eléctrica en el mercado de ocasión (mercado *spot*).

Figura No. 3 Parque eólico en Tilarán, Costa Rica



## **1.2 El recurso eólico**

### **1.2.1 Origen del viento**

La energía eólica tiene su origen en la solar, más específicamente en el calentamiento diferencial de masas de aire por el Sol, ya sea por diferencias de latitud (vientos globales) o el terreno (mar-tierra o vientos locales). Las diferencias de radiación entre distintos puntos de la Tierra generan diversas áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión.

De los sistemas de vientos globales, uno de los más importantes es el de los alisios, el cual tiene su origen en el mayor calentamiento de la región ecuatorial. En general, este sistema es activo entre las latitudes de 30 grados norte y sur, por lo que es de alta relevancia para la región de América Central.

De la energía solar que llega a la Tierra por radiación (unos 1.018 kWh por año), sólo alrededor del 0,25% se convierte en corrientes de aire. Esta cantidad es todavía 25 veces mayor al consumo energético total mundial. La dirección del viento está determinada por efectos topográficos y por la rotación de la Tierra. Es de gran importancia el conocimiento de las direcciones dominantes para instalar los equipos que extraerán la energía proveniente de este recurso. Los aerogeneradores se deben colocar en lugares donde exista la menor cantidad de obstáculos posibles en estas direcciones.

### **1.2.2 Estimación del recurso**

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.

Figura No. 4. Torres eólicas, Tilarán- Costa Rica





## **2. FUNCIONAMIENTO, COMPONENTES, Y APLICACIONES**

### **2.1 Funcionamiento y componentes**

#### **2.1.1 Transformación de la energía**

El dispositivo que se utiliza para aprovechar la energía contenida en el viento y transformarla en eléctrica es la turbina eólica. Una turbina obtiene su potencia de entrada convirtiendo la energía cinética del viento en un par (fuerza de giro), el cual actúa sobre las palas o hélices de su rotor. Para la producción de electricidad la energía rotacional es convertida en eléctrica por el generador que posee una turbina; en este caso, llamado aerogenerador. Las turbinas que se encuentran en el mercado son muy confiables, con factores de disponibilidad de más de un 98%, lo cual significa que pueden operar durante más del 98% del año; generalmente, apagándose sólo durante el período de mantenimiento. Además las turbinas sólo requieren mantenimiento cada seis meses. Además de las características del viento, la cantidad de energía que pueda ser transferida depende de la eficiencia del sistema y del diámetro del rotor. Las mejores aeroturbinas que se construyen actualmente tienen un índice global de eficiencia (tomando en cuenta la del rotor y el generador) de casi 35%.

## **2.1.2 Componentes**

Existen varios tipos de turbinas y cada una puede tener diferentes componentes, dependiendo de la aplicación; sin embargo, se pueden reconocer algunos comunes, como se explica a continuación.

### **2.1.2.1 Rotor**

El rotor es el elemento principal de una máquina eólica, siendo su función la transformación de la energía cinética del viento en mecánica utilizable. Existe gran variedad de rotores y su clasificación más usual se realiza en función de la disposición del eje: horizontal o vertical, de los cuales el primero es el más común. Los rotores de eje horizontal tienen aspas que giran en un plano vertical como las hélices de un avión. Para sistemas de generación eléctrica, el rotor consiste generalmente en dos o tres aspas y está hecho de fibra de vidrio con poliéster o epoxy; además el cubo que conecta las aspas al eje. Los rotores de sistemas para aplicaciones mecánicas suelen tener más aspas (10 a 20), y giran a velocidades más bajas. El rotor de una turbina eólica puede variar en tamaño, lo cual afecta la cantidad de energía correspondiente que se puede generar. Por ejemplo, una turbina de 10 kW típicamente tiene un diámetro de rotor de siete metros, mientras que una turbina de 750 kW tiene un diámetro de 24 metros.

### **2.1.2.2 Tren de potencia o conversión mecánica**

El tren de potencia está constituido por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad alta y las balineras o cojinetes que soportan los ejes. Se aplica en sistemas grandes eléctricos para adaptar la velocidad del eje a la del generador. Algunas turbinas no contienen la caja de cambios.

### **2.1.2.3 Sistema eléctrico**

En sistemas de generación eléctrica, éste se refiere al generador, el cual está acoplado al eje para transformar la energía mecánica en eléctrica. Además, consiste en las interfaces para la conexión a las aplicaciones o a la red eléctrica.

### **2.1.2.4 Chasis**

Contiene los elementos claves de la turbina, como la caja de cambios y el generador. En turbinas grandes, el chasis puede tener el tamaño de un microbús y el personal de mantenimiento entra a él desde la torre. Usualmente, es una pieza metálica forjada sobre la cual se montan las diferentes partes del tren de conversión modularmente, al mismo tiempo que lo protege del ambiente y sirve de aislante al ruido mecánico de la caja de cambios y del generador.

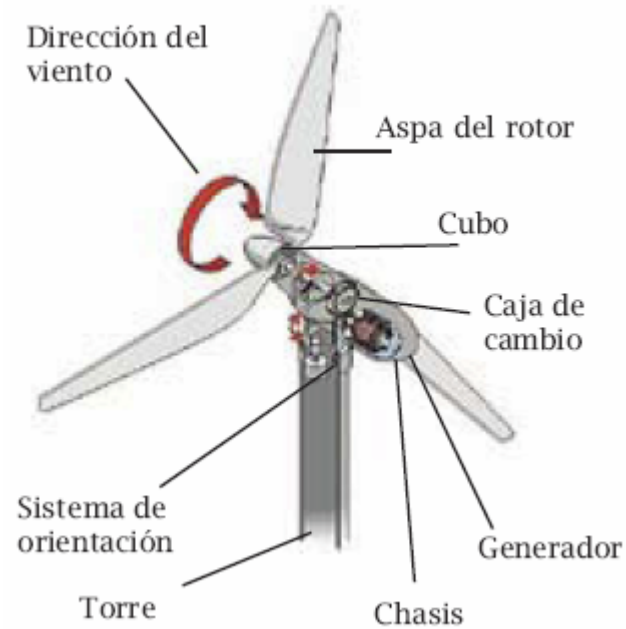
### **2.1.2.5 Sistema de orientación**

Las máquinas de eje horizontal tienen este componente, el cual detecta la orientación del viento y coloca el rotor en su misma dirección para aprovecharlo al máximo. El sistema de orientación está compuesto por el cojinete, los motores eléctricos, los sensores y un freno mecánico.

### **2.1.2.6 Torre**

Las máquinas eólicas deben estar situadas sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento que transmiten el sistema de captación y las eventuales vibraciones. Su altura debe ser suficiente para evitar que las turbulencias, debidas al suelo, afecten a la máquina y para superar los obstáculos cercanos. Por ejemplo, una turbina de 750 kW tiene una altura típica de 63 metros. El uso de torres más altas significa un costo mayor al inicio, pero éste disminuye el período de la recuperación de la inversión, debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura y logra generar más energía.

Figura No. 5. Componentes de una turbina eólica



#### 2.1.2.7 Sistema de seguridad

Este pone la turbina en una situación estable y segura, en caso de que ocurran anomalías tales como pérdida de carga, velocidad de rotación o temperatura del generador a caja de cambios demasiado altas.

## **2.1 Aplicaciones**

### **2.2.1 Aplicaciones mecánicas**

#### **2.2.1.1 Bombeo de agua**

La aplicación mecánica más frecuente de la energía eólica es el bombeo de agua, para lo cual son especialmente adecuadas las turbinas de baja potencia. Esta aplicación demanda un alto par de arranque y de una baja velocidad específica de viento, por lo que se conoce como un “sistema eólico lento”. Se aprovecha el viento para el bombeo de agua en áreas aisladas de la red eléctrica. Los sistemas mecánicos operan prácticamente con la misma tecnología, desarrollada en el siglo IX, mientras que los nuevos están más adaptados a la variabilidad del viento. También se usan sistemas eólicos eléctricos para bombeo de agua, los que generalmente no requieren baterías. Al comparar sistemas mecánicos y eléctricos para bombeo de agua, se puede decir que los primeros son más baratos y que pueden operar a velocidades del viento más bajas. Adicionalmente, su mantenimiento es más simple y barato. Sin embargo, los sistemas eléctricos tienen la ventaja de que la turbina no tiene que instalarse en el sitio del pozo, sino en un punto más ventoso

Figura No. 6. Molino típico para bombeo de agua



### **2.2.1.2 Aplicaciones térmicas**

La energía mecánica de una máquina eólica se puede transformar directamente en térmica por dos mecanismos: calentamiento de agua por rozamiento mecánico o compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor. En ambos casos, el calor producido se puede enviar, a través de un cambiador de calor, a un sistema de calefacción convencional. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de aplicación no ha resultado económicamente factible. Es más costo-efectivo generar electricidad de alta calidad, pues se puede aplicar en diferentes casos, que construir un sistema eólico sólo para una aplicación térmica.

## **2.1.2 Sistemas eléctricos aislados**

Las pequeñas turbinas eólicas, las cuales tienen un rango de 0,3 a 100 kW, muchas veces son la fuente de electricidad más económica para sitios aislados, cuando el recurso eólico es apropiado y su operación es simple y barata. La aplicación más común de sistemas aislados es la electrificación de viviendas rurales, para la cual existen diferentes configuraciones.

### **2.1.2.1 Sistemas individuales**

Este tipo de sistemas se refiere a uno de generación eléctrica para una vivienda. Generalmente, cuenta con un pequeño aerogenerador, una o más baterías para almacenar la energía generada y un regulador que controla la carga y descarga de las baterías. Dependiendo de la aplicación, puede incluir un inversor para transformar la electricidad de corriente directa en alterna a 110 voltios.

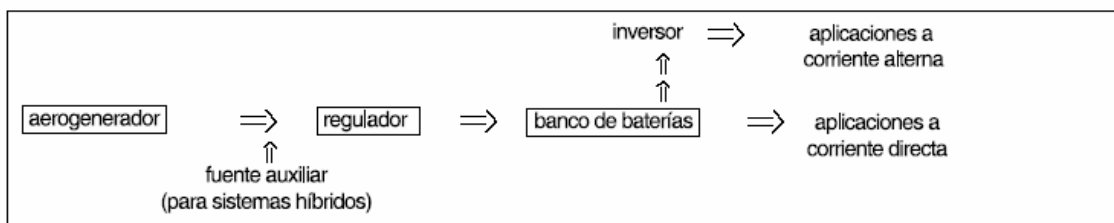


Figura No. 7. Turbina pequeña aislada de la red



Una configuración típica de estos sistemas se muestra en la siguiente figura:

Figura No. 8. Esquema de un sistema eólico aislado



## **2.1.3 Sistemas eléctricos conectados a la red**

### **2.1.3.1 Parques eólicos**

Un parque eólico usa la misma tecnología básica que un pequeño sistema, aunque a una escala mayor. Generalmente, se coloca una serie de turbinas grandes (desde 100 hasta 2.000 kW), que pueden ser de decenas a centenares, en un sitio con condiciones de viento muy favorable. Aparte de la escala, la otra gran diferencia con sistemas pequeños es la ausencia de baterías, y que se conectan directamente a la red eléctrica existente.

La variabilidad del viento tiene un impacto en la calidad de la electricidad que se pueda suministrar a la red con la energía eólica; i.e., la estabilidad del voltaje y la frecuencia. Sin embargo, turbinas modernas son diseñadas específicamente para manejar estas variaciones y producir electricidad de forma constante, con mecanismos que controlan el nivel de aprovechamiento de la energía del viento. El uso de varias turbinas también ayuda a disminuir la fluctuación en la generación, porque la turbulencia de una, cancela la de otra. No necesariamente todo el grupo de turbinas que abastece la red eléctrica tiene que operar de forma simultánea, de forma similar a las plantas térmicas, en un sistema convencional, algunos equipos periódicamente están fuera.

Hasta la fecha, en América Central sólo se han instalado parques eólicos en Costa Rica, mientras que en los otros países se están desarrollando varios proyectos a nivel de pre-inversión. El desarrollo de estos parques requiere estudios detallados de las características del viento en un sitio dado, debido a que variaciones en la disponibilidad pueden tener fuertes repercusiones en la factibilidad del proyecto.

### **2.1.3.2 Pequeños sistemas conectados a la red**

Si la legislación del sector eléctrico lo permite, existe la oportunidad de suministrar energía a la red con pequeños sistemas eólicos. Esto es aplicable en los casos en que exista una red en las proximidades del centro de consumo. En este esquema, la energía requerida por el usuario sería suministrada por el sistema eólico y por la red eléctrica. Si el aerogenerador produce energía en exceso, se entrega el excedente a la red eléctrica y, si se produce menos energía de la requerida, se toma de la red. El almacenamiento de la electricidad en baterías es opcional, pero su inclusión exige dispositivos rectificadores de corriente alterna para la carga de las baterías y onduladores de corriente continua (inversores).

Figura No. 9. Parque eólico en Tilarán - Costa Rica



## **3. CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS**

### **3.1 Demografía del departamento de Izabal**

#### **3.1.1 Características principales del departamento de Izabal**

##### **3.1.1.1 Ubicación**

El Departamento de Izabal se encuentra situado en la región III o región Nor-oriental, su cabecera departamental es Puerto Barrios y limita al Norte con el departamento de Petén, Belice y el Mar Caribe; al Sur con el departamentos de Zacapa; al Este con la República de Honduras; y al Oeste con el departamento de Alta Verapaz. Se ubica en la latitud 15° 44' 06" y longitud 88° 36' 17". Cuenta con una extensión territorial de 9,038 kilómetros cuadrados. Su topografía es bastante variada, aunque las alturas de las cabeceras municipales apenas oscilan entre los 0.67 metros sobre el nivel del mar en Puerto Barrios, 1.65 en el Estor, 4.0 en Morales y 77 en los Amates. La climatología es generalmente cálida, con fuertes lluvias durante el invierno. La cabecera departamental de Izabal, se encuentra a de 308 kilómetros de la ciudad capital.

El territorio de Izabal se encuentra dividido en cinco municipios que son:

1. Puerto Barrios
2. Livingston
3. El Estor
4. Morales
5. Los Amates.

### **3.1.1.2 Datos históricos**

Se cree que el origen del nombre de Izabal, viene del Golfo Dulce, sin embargo, ahora puede decirse que proviene del vasco o vascuence, cuyo idioma: Zabal equivale a ancho, posiblemente por la bahía. Es preciso recordar que los miembros del Real Consulado de Comercio en su mayoría eran vascos, o sus descendientes. Según Fuentes y Guzmán, al Golfo Dulce le vino el nombre por lo dulce de sus aguas. En 1803, según documentos que obran en el Archivo General de Centroamérica, apareció el primer reglamento para embarques y desembarques del Real Consulado, en que se menciona a Izabal.

Durante el período hispánico este departamento pertenecía al corregimiento de Chiquimula de la Sierra, luego fue distrito para ser creado como departamento el 18 de mayo de 1866. Desde el 11 de marzo de 1951, el departamento de Izabal pertenecía al obispado de Zacapa, integrado por Zacapa, Chiquimula e Izabal.

El 30 de abril de 1968 se erigió la administración apostólica de Izabal, con sede en Puerto Barrios y comprende solo este departamento. El pueblo de Izabal está situado en la margen sur del lago de Izabal y durante el período hispánico tuvo mucha importancia, especialmente en el aspecto comercial, siendo por esto, muy asediado por los piratas de esa época.

Según la Demarcación Política de la República de Guatemala, Oficina de Estadística 1892, el 31 de diciembre de ese año, el departamento lo formaban los poblados siguientes: Izabal (cabecera departamental y Municipal), Livingston, Santo Tomás, Quebradas y El Estor. El entonces municipio de Izabal fue suprimido por acuerdo gubernativo del 7 de noviembre de 1935, que lo anexó como aldea al municipio de Los Amates.

Sobre el mar Caribe, específicamente en Livingston y parte de Puerto Barrios se habla en caribe-araguaco o garífuna, cuyos habitantes son el resultado del mestizaje de tres grupos étnicos: los indios caribes (naturales de esas islas), los araguacos originarios de la América del Sur y de los negros procedentes de África.

Según Leiva Vivas, la situación económica de España era muy difícil, a pesar de que poseía el imperio más grande en América, viéndose obligada a conceder las operaciones del comercio de esclavos negros a empresas extranjeras, iniciándose el primer tráfico negro hacia Santo Domingo y Cuba. "Carlos I otorgó el primer asiento" el 12 de febrero de 1528 a Enrique Ehinger y Jerónimo Sayler, de nacionalidad alemana, para introducir esclavos negros en tierra de América. Por asiento debió entenderse un convenio o contrato por medio del cual un particular o una compañía se comprometía con el gobierno español para transportar esclavos negros a las colonias españolas en América.

La historia de los negros caribes principia en San Vicente, una isla de las Antillas Menores, a donde llegaron descendientes de esclavos africanos, sobrevivientes de naufragios o fugitivos de las plantaciones de las islas vecinas, procedentes probablemente de diferentes partes de África Occidental y del Congo, donde se mezclaron con los indios caribes. Para sobrevivir, los negros tuvieron que aprender de los indios caribes sus métodos agrícolas y su tecnología fundamental, es decir, el cultivo de la mandioca, la elaboración del pan de mandioca y la fabricación de todos los utensilios que son parte del proceso relacionado con la mandioca, como las canastas para acarrear el producto, pilones de madera, ralladores, exprimidores para sacar el jugo de la mandioca silvestre, cernederos y morteros de madera. Basaron su alimentación en plantas cultivadas y silvestres y aprendieron técnicas de pesca.

El mestizaje de estos tres grupos continuó durante mucho tiempo y no fue sino hasta principios del siglo XIX que un grupo se trasladó a las costas de Centroamérica, especialmente de Belice, Honduras y Guatemala, asentándose en este país, en las costas de Livingston y Puerto Barrios. Un aspecto particular de su historia es que algunos de sus actuales municipios se constituían en territorios libres de trabajos forzados y repartimientos, por lo que muchos indígenas lograron huir de sus pueblos y se establecieron en pequeñas parcelas desarrollando una economía de subsistencia, especialmente en el Estor. Además, trabajaron en actividades propias de los puertos, las cuales requerían de fuerza no sólo indígena, sino también de raza negra.



Respecto al Ferrocarril del Norte, el Presidente General Justo Rufino Barrios pensó unir la capital con la costa del Atlántico por medio de un ferrocarril, en igual forma como se había hecho con la costa del Pacífico, por lo que el 4 de agosto de 1883 emitió un decreto excitando el patriotismo de los guatemaltecos, a efecto de que con sus propios recursos se construyera el Ferrocarril del Norte como una empresa nacional. Para tal efecto, se imponía una suscripción anual y obligatoria de cuatro pesos durante 10 años, que debían pagar todas las personas que devengaban más de ocho pesos mensuales, con derecho a ser accionistas y así llevar a cabo la obra con fondos de los propios guatemaltecos. Cuando el General Justo Rufino Barrios murió en 1885, los trabajos del ferrocarril se suspendieron y para entonces solamente se habían tendido 32 kilómetros de rieles. Varios años después, el Presidente José María Reyna Barrios se empeñó en el proyecto y el 19 de julio de 1895 emitió el decreto No. 513, publicado ese mismo día en el diario oficial, en que se ordenaba la fundación de la ciudad de Puerto Barrios. El General Reyna Barrios colocó la primera piedra y declaró inaugurados los trabajos del ferrocarril. Con motivo de la inauguración del tramo del ferrocarril del norte desde Puerto Barrios a Zacapa, se emitió firmado en Puerto Barrios, el decreto No. 524 el 4 de noviembre de 1896, publicado dos días después en el diario oficial, por el que se declaró a Puerto Barrios Puerto Mayor de toda la República.

La línea férrea interoceánica fue inaugurada el 19 de enero de 1908, con la llegada del Ferrocarril del Norte a Agua Caliente (El Progreso), donde se firmó el acta respectiva, continuando su recorrido hasta llegar a la ciudad Capital.

**a) Costumbres y tradiciones** de manera tradicional se han celebrado dos ferias titulares en la cabecera: del 4 al 14 de mayo, al tenor del acuerdo gubernativo del 27 de marzo de 1956 en honor del Sagrado Corazón de Jesús. El acuerdo gubernativo del 14 de octubre de 1974 transfirió para los días del 14 al 21 de mayo la feria titular de la cabecera departamental.

**b) Hermandades** en Izabal se conocen más las hermandades que las cofradías, ya que la cultura garífuna, es un grupo dominante de esta región costera, reconociendo tradicionalmente el concepto de hermandad para la organización de sus festividades.

Las hermandades garifunas son de orden católico y se organizan para celebrar la fiesta de su santo patrón, para lo que suelen recaudar fondos a través de rifas, contribuciones de sus miembros y donaciones de particulares.

**c) Idiomas** el idioma oficial y más hablado es el español, sin embargo, desde 1800 se alterna el idioma garífuna que es el resultado del mestizaje de tres grupos étnicos : los indios caribes que son naturales de esas islas, los araguacos procedentes de la América del Sur y los negros africanos. En Estor y parte de Livingston también se habla el Quekchí, ya que la parte occidental de este departamento ha sido habitada por la etnia del mismo nombre.

**e) Economía** Izabal es uno de los departamentos que ofrece mayor riqueza al país, por la fertilidad de su suelo, los recursos minerales, accesibilidad por las vías de comunicación, los puertos marítimos y alternativas dentro del sector turístico. Este departamento es eminentemente agrícola y su principal producto de exportación es el banano, aunque sus cultivos se han diversificado y actualmente producen arroz, maíz y las frutas propias del lugar cálido; y la explotación del subsuelo para la extracción de minerales.

Se localizan en Izabal, los puertos Santo Tomás y Puerto Barrios, que tienen la capacidad de atracar barcos de gran callado en sus muelles, constituyéndose en puntos esenciales de intercambio internacional en el Atlántico.

Las artesanías de este departamento, son elaboradas por las hábiles manos de sus pobladores, las cuales se dedican a fabricar instrumentos musicales, joyas, cestería, utensilios de cocina y artículos decorativos. Tienen mayor demanda la elaboración de redes para la pesca, fabrican y pintan máscaras para danzas y rituales, así como sísiras (chinchines) que se utilizan para otras fiestas no religiosas.

También diseñan artículos de ornamentación con materiales como el jade y productos del mar, especialmente en la variedad de conchas con las que se hacen collares, aretes, anillos, pulseras y peinetas.

**e) Centros turísticos arqueológicos** como atractivos naturales, Río Dulce es considerado como uno de los lugares más bellos de la República, por su majestuosidad y belleza que impresionan, tanto a los turistas nacionales como extranjeros que lo visitan para admirarlo; así como las costas del lago de Izabal y sus playas de arena blanca, como Playa Dorada, que hacen de este lugar, un gran atractivo para los visitantes; así también, en la bahía de Amatique, Izabal brinda refugio a varios atractivos que reflejan un paisaje tropical y la belleza del mar Caribe, entre ellos: Punta de Palma, Playa la Graciosa, Punta de Manabique y los Cayos del Diablo.

Como atractivo turístico está el castillo de San Felipe de Lara, construido en 1652 en honor al Oidor Antonio Lara y Mangravo, se encuentra situado en el municipio de Livingston, ubicado en el lugar en que el río Dulce sale del lago. Su destino fue defender la soberanía de Guatemala y de Centro América, evitando que los piratas ingleses se internaran en territorio guatemalteco, navegando el río Dulce hacia el lago y de aquí tomar rumbo a la capital. Fue incendiado en 1686 por el pirata Sharp. Tiene poderosos cañones y se dice que por las noches se atravesaba de un lado a otro del río, frente al castillo, una enorme cadena para evitar el paso de los barcos.

Las tierras de Izabal fueron pobladas por indígenas mayas que dejaron vestigios de su cultura, siendo estos: Quiriguá, Chapulco, Nito, Carpul, Araphoe, Playitas, Chinamito, Las Quebradas, Matilisguate, Xoocoló, Cuenca del Choón, y Miramar Bella Vista.

**f) Configuración geográfica** la topografía del departamento es bastante variada a pesar de que las alturas sobre el nivel del mar de las cabeceras municipales oscilan entre los 0.67 en el parque de Puerto Barrios, 1.65 en El Estor, 2.0 en Livingston, 4.0 en Morales y 77.03 en Los Amates. Su clima en general es cálido y aunque en el pasado ha sido malsano, especialmente en los lugares bajos y pantanosos, pero las principales poblaciones han sido saneadas constantemente.

Su aspecto físico es muy variado. Las mayores alturas del departamento son las calizas de San Gil y las montañas de Grita, del Gallinero y las sierras del Merendón y del Espíritu Santo, que se elevan hasta unos 2,000 metros sobre el nivel del mar, así como también las sierras de Santa Cruz, de Las Minas y la montaña del Mico. Posee profundos valles y las partes bajas que se extienden en planicies muy fértiles, son de clima templado y cálido, muy apropiadas para la siembra de cultivos tropicales, especialmente el banano que fue aún siguiendo uno de los principales productos de exportación.

Este cultivo se ha diversificado y actualmente se encuentra arroz, maíz, frutas, etc. Los bosques que durante mucho tiempo han permanecido vírgenes en su mayor parte, actualmente son objeto de explotación y en algunos lugares en forma indiscriminada.

**g) Hidrografía** en lo que se refiere al aspecto hidrográfico, el departamento de Izabal es atravesado por ríos de gran importancia como el Motagua, Lámpara, Ciénaga, Zarco, Polochic, Sarstún, Dulce, Amatillo, Oscuro, etc.

Como de suma importancia se encuentra el lago de Izabal que es el de mayor extensión de la República, con un área aproximada de 50 kilómetros de largo por 25 kilómetros de ancho. Es alimentado por el río Polochic y desagua por el río Dulce. Las aguas del lago, son expuestas a tempestades fuertes, tienen abundancia de peces, cocodrilos, lagartos, y en sus orillas se pueden admirar grandes grupos de garzas y variedad de aves acuáticas y muchos mamíferos. En este lago se encuentra el manatí (*trichechus manatus*), que es un ejemplar poco conocido, cuya especie se ha ido reduciendo por la caza de que ha sido objeto, su carne excelente y su grasa muy apetecida. También existe una variedad de tiburón de agua dulce que se ha aclimatado.

Río Dulce, que tiene 36 Km. De largo y desemboca en el mar Caribe, forma a poca distancia del lago, un golfete que tiene 61.8 Km. cuadrados de área.

**h) Orografía** el aspecto físico del departamento es variado, sorprendente y hermoso; sus montañas vírgenes de incalculables riquezas, así como la majestuosidad de sus selvas y rico subsuelo. Se encuentra la imponente Sierra de las Minas, así como las sierras: Santa Cruz, del Merendón, y del Espíritu Santo que se elevan hasta unos 2,000 metros sobre el nivel del mar; las montañas: de Grita, Del Gallinero y del Mico; y también se encuentra el cerro San Gil, en Livingston.

**i) Zonas de vida vegetal** se le llama zona de vida a la unidad climática natural en que se agrupan diferentes asociaciones correspondientes a determinados ámbitos de temperatura, precipitación y humedad.

Clasificación de las zonas de vida de Guatemala: se basa en el sistema de clasificación de HOLDRIDGE, que considera fundamentalmente tres aspectos del ambiente:

- a. **La biotemperatura:** (puede calcularse sumando las temperaturas sobre cero grados hasta 30 grados centígrados de cada mes y se divide entre 12). Estas temperaturas se toman ya que se considera que debajo de cero grados centígrados y sobre treinta grados centígrados no existe vida vegetativa activa.
- b. **Precipitación pluvial:** Se refiere al total promedio anual de agua expresada en milímetros que cae de la atmósfera, ya sea como lluvia, nieve o granizo.
- c. **Humedad:** Esta determinada por la relación entre temperatura y precipitación.

Partiendo de estos conceptos HOLDRIDGE identificó para Guatemala once zonas de vida; cada una de ellas se identifica por medio de una simbología específica, por ejemplo monte espinoso subtropical se representa por me-S, bosque seco subtropical por bs-S bosque húmedo subtropical (cálido) por bh-S(c).

En este departamento se observan claramente seis zonas de vida que se identifican por su condición topográfica, estas son:

bs - S Bosque Seco Subtropical

bmh - T Bosque Muy Húmedo Tropical

bh-S(t) Bosque Húmedo Subtropical Templado



bmh-S (f) Bosque Muy Húmedo Subtropical Frío

bmh-S(c) Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido

bp - MB Bosque Pluvial Montano Bajo Subtropical.

Sobresalen en este departamento, dos zonas de vida: la zona de bosque muy húmedo subtropical cálido y la zona de bosque muy húmedo Tropical.

### **3.1.1.3 Areas protegidas**

En Izabal existen varias zonas que se han denominado áreas protegidas, entre las cuales están: la Reserva de la Biósfera de las Minas, con una superficie de 96,000 hectáreas, la cual es administrada por los Defensores de la Naturaleza; el Parque Nacional Bahía de Santo Tomás, con una superficie de 1,000 hectáreas, siendo administrada por CONAP; La Protección de Manantiales en el Cerro San Gil, que tiene una superficie de 28,098 hectáreas, administrada por FUNDAECO; la *Reserva Biológica de Río Dulce*, con una superficie de 7,200 hectáreas, que administra CONAP; el Biotopo protegido del Manatí Chocón Machacas, con una superficie de 6,265 hectáreas que administra CECON-USAC; Reserva Natural Privada el Higuerito, con superficie de 1,266 hectáreas, la cual es administrada por Juan Antonio P.; La Reserva Natural privada Río Blanco, con una superficie de 136 hectáreas que administra Agro-industrias; el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, con superficie de 20,760 hectáreas que administran los Defensores de la Naturaleza; la Sierra de las Minas con una superficie de 140,300 hectáreas que administran los Defensores de la Naturaleza; Parque Nacional Río Dulce de superficie de 7,200 hectáreas que administra CONAP; Monumento Natural Quiriguá, con superficie de 34 hectáreas que administra IDAEH; y el Parque Nacional Cuevas del Silvino, con superficie de 8 hectáreas que administra CONAP.

#### **3.1.1.4 Vías de comunicación**

Sus principales vías de comunicación con la capital son la carretera Interoceánica o del Atlántico CA-9; las vías férreas del Ferrocarril del Norte que atraviesa el departamento; cuenta con vías aéreas; y vías marítimas como los puertos: Santo Tomás de Castilla y Puerto Barrios que son los principales puertos de entrada en el mar Caribe, donde anclan barcos de diferente calado.

#### **3.1.1.5 Geología**

La geología se refiere a los orígenes de los suelos, la era de inicio de su formación, y además se pueden identificar las fallas sísmicas y los volcanes que se encuentran en cada departamento.

En Izabal, se pueden encontrar en gran parte de su territorio, carbonatos neocomianos - campanianos que incluye formaciones cobán, Ixcoy, campur, sierra madre y grupo yojoa (Ksd); rocas del período paleozoico, donde predominan las rocas metamórficas sin dividir, filitas, esquistas cloríticas y granatíferos, esquistos y gnesses de cuarzo(Pzm); los Aluviones Cuaternarios (Qa); Carbonífero - Pérmico (CPsr); y Predominan las fallas geológicas: inferidas y cubiertas, que se pueden observar gran cantidad de ellas.

### **3.1.1.6 Capacidad productiva de la tierra**

Es el aprovechamiento máximo que se le puede dar a un área determinada de terreno, después de conocer las cualidades y aptitudes del mismo, a través de las prácticas agrícolas, pecuarias, forestales, análisis de laboratorio, topografía del terreno, profundidad, rocosidad, estudios, etc., permitiéndonos de esta forma obtener mejores ganancias en determinados periodos de tiempo, dependiendo del tipo de uso que se le desee dar. Es el aprovechamiento máximo que se le puede dar a un área determinada de terreno, después de conocer las cualidades y aptitudes del mismo, a través de la práctica, análisis, estudios, etc., permitiéndonos de esta forma obtener mejores ganancias en determinados períodos de tiempo, dependiendo del tipo de uso que se le desee dar.

Para evidenciar con que capacidad productiva de terreno se cuenta en este departamento, en Guatemala de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América, existen ocho clases de clasificación de capacidad productiva de la tierra, en función de los efectos combinados del clima y las características permanentes del suelo. De estas ocho clases agrológicas la I, II, III Y IV son adecuadas para cultivos agrícolas con prácticas culturales específicas de uso y manejo; las clases V, VI, y VII pueden dedicarse a cultivos perennes, específicamente bosques naturales o plantados; en tanto que la clase VIII se considera apta sólo para parques nacionales, recreación y para la protección del suelo y la vida silvestre.

En Izabal están representadas siete de las ocho clases agrológicas indicadas, predominando las clases VIII, VII y IV.

### **3.1.2 Monografía del municipio de Puerto Barrios, Izabal**

El municipio de Puerto Barrios, con una área aproximada de 1292 kilómetros cuadrados y a una altura de 0.67 metros sobre el nivel de mar, limita al norte con la bahía de Amatique, conocido también como de Santo Tomás de Castilla, Golfo de Honduras, o mar Caribe; al este con el Golfo de Honduras y la República de Honduras; al sur con la República de Honduras y Morales (Izabal); al oeste con Morales, Los Amates y Livingston (Izabal).

Cuenta con una ciudad que es la cabecera departamental y municipal, 5 aldeas y 64 caseríos. Entre los barrios de la cabecera están El Bordo, El Estrecho y El Rastro. Las aldeas son: Corozo, Chachagualilla, El Cinchado, Entre Ríos y Santo Tomás de Castilla.

Por su localización geográfica, Puerto Barrios presenta características especiales que se enumeran a continuación:

Estaciones de ferrocarril:

- Corozo
- Laurel
- Entre Ríos
- Manaca
- Puerto Barrios

Sitios arqueológicos:

- Leyden
- Santo Tomás
- San Manuel

Accidentes geográficos:

- Sierras: de Omoa y del Espíritu Santo
- Montañas: del Mico y de La Grita
- Cerros: del Diablo, Escarpado y San Gil

Cayos:

- de Punta Moreno (2)
- del Coche
- del Diablo (2)
- de la Graciosa
- de la Romana
- de las Escobas
- San Carlos
- Santa Isabel

Puntas:

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| • Confral        | Gruesa          |
| • Chachagualillo | Manglar         |
| • de Manabique   | Mapache         |
| • de Palma       | Moreno          |
| • del Coco       | Pichilingo      |
| • del Coche      | Piedra Pescuezo |
| • de La Graciosa | Santa María     |

#### Accidente hidrográficos:

- Mar: Caribe.
- Golfo: de Honduras.
- Bahías: de Amatique, Santo Tomás de Castilla, de Omoa y La Graciosa.
- Esteros: de Bernabé, Guineo, Lagarto, Motagua Viejo, Motaguilla.
- Canal: de los Ingleses.
- Lagunas: Santa Isabel y Tinta.
- Lagunetas: Cambalache, de Machacas y verde.
- Ríos: lo riegan 46 ríos de menor importancia.
- Arroyo: Grant Creek.
- Quebradas: Colón, Chachagualilla, de Guerra, de Valladares, El Culebrero,
- El Manguito, Guerrero, Limerito y Seca.

El clima del área de Puerto Barrios y Santo Tomás de Castilla puede designarse como tropical, puesto que durante casi todo el año las temperaturas permanecen altas. Es común que durante el día se refresquen un poco con la brisa del mar, y en la noche sopla una brisa procedente del interior. Los principales vientos, fuente de humedad para todo el departamento, son los alisios que soplan procedentes del mar Caribe.

Población total censada y locales de habitación particulares

Tabla No. I

Población total por municipios

Población total censada y locales de habitación particulares (viviendas), según municipios			
No.	MUNICIPIO	POBLACIÓN	VIVIENDAS
	TOTAL	314,306	76,572
1	Puerto Barrios	81,078	21,467
2	Livingston	48,588	11,294
3	El estor	42,984	8,363
4	Morales	85,469	22,346
5	Los Amates	56,187	13,102

**3.1.2.1 Características principales de la población**

Características de la población

Tabla No.II

Población por sexo, según el municipio de Puerto Barrios

Municipio	Población Total	Hombres	Mujeres
Puerto Barrios	81,078	40,242	40,836

Población por grupos de edades

Tabla No. III

Población por grupos de edad (años cumplidos), según el municipio de Puerto Barrios

Municipio	De 0 a 6	De 7 a 14	De 15 a 17	De 18 a 59	De 60 a 64	De 65 y mas
Puerto Barrios	14,776	15,390	4,977	40,613	1,614	3,708

Población por área

Tabla No. IV

Población por área

Municipio	Urbana	Rural
Puerto Barrios	48,581	32,497



### 3.1.2.2 Situación habitacional del hogar

Condición según el tipo de habitación

Tabla No. V

Condición de tendencia del local de habitación particular (vivienda), según el municipio de Puerto Barrios

Municipio	Total de habitaciones particulares	Total de Hogares	En Propiedad	En alquiler	Cedido (prestado)	Otra condición
Puerto Barrios	18,012	18,274	13,202	3,175	1,752	145

### 3.1.2.3 Características generales de los locales de habitación particulares (vivindas)

Tipo de local, según municipio de Puerto Barrios

Tipo de local

Tabla No. VI

Municipio	Total de locales de habitación particulares	Casa Formal	Apartamento	Cuarto en casa de vecindad (palomar)	Rancho	Casa Improvisada	Otro Tipo
Puerto Barrios	21,467	17,500	849	1,422	1,167	439	70

### 3.2 Análisis de vientos de Puerto Barrios

#### 3.2.1 Velocidades y direcciones de los vientos que oscilan en el departamento de Puerto Barrios

Las velocidades de los vientos en el municipio de Puerto Barrios son muy variadas respecto a su velocidad, a continuación se presentaran la tabulación de los datos con la velocidades de los vientos en los últimos años en el municipio de Puerto Barrios, Izabal.

Análisis de los vientos enero junio

Tabla No. VII

LAT	LONG	ALT (m)	AÑO	DIMENS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
15°44'16"	88°35'30"	20	1990	m/s	6.7	6.2	5.4	5.2	4.6	5.7
15°44'16"	88°35'30"	20	1991	m/s	4.2	4.4	4.9	4.7	4.6	4.9
15°44'16"	88°35'30"	20	1992	m/s	5.7	5.8	6.0	5.3	5.3	5.0
15°44'16"	88°35'30"	20	1993	m/s	5.7	4.4	5.9	5.4	5.9	5.1
15°44'16"	88°35'30"	20	1994	m/s	6.3	5.9	7.3	6.8	6.9	7.7
15°44'16"	88°35'30"	20	1995	m/s	5.6	5.3	3.6	6.2	5.8	5.7
15°44'16"	88°35'30"	20	1996	m/s	5.7	5.7	6.7	5.9	5.9	5.7
15°44'16"	88°35'30"	20	1997	m/s	4.8	5.6	6.3	5.8	7.4	5.4
15°44'16"	88°35'30"	20	1998	m/s	5.3	6.6	6.6	5.9	5.2	6.5
15°44'16"	88°35'30"	20	1999	m/s	7.3	5.6	6.1	5.6	5.5	4.4
15°44'16"	88°35'30"	20	2000	m/s	4.4	4.4	5.0	5.6	4.6	4.4
15°44'16"	88°35'30"	20	2001	m/s	5.6	6.7	5.6	5.6	4.4	5.6
15°44'16"	88°35'30"	20	2002	m/s	4.4	5.6	5.6	5.0	4.4	5.3

## Análisis de los vientos julio diciembre

Tabla No. VIII

LAT	LONG	ALT (m)	AÑO	DIMENS	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15°44'16"	88°35'30"	20	1990	m/s	5.2	5.1	4.3	4.8	5.6	4.4
15°44'16"	88°35'30"	20	1991	m/s	4.9	5.3	5.4	5.2	5.7	5.6
15°44'16"	88°35'30"	20	1992	m/s	6.7	5.8	5.8	4.7	5.6	5.7
15°44'16"	88°35'30"	20	1993	m/s	6.2	5.6	6.0	4.9	5.3	6.4
15°44'16"	88°35'30"	20	1994	m/s	8.9	7.2	5.9	6.3	5.2	5.5
15°44'16"	88°35'30"	20	1995	m/s	6.2	5.4	4.6	5.5	5.2	5.3
15°44'16"	88°35'30"	20	1996	m/s	6.1	5.7	5.9	5.6	7.7	4.8
15°44'16"	88°35'30"	20	1997	m/s	5.8	6.1	5.6	4.2	5.8	6.3
15°44'16"	88°35'30"	20	1998	m/s	3.8	4.2	5.2	10.2	5.3	6.1
15°44'16"	88°35'30"	20	1999	m/s	4.4	4.4	4.4	5.0	5.6	4.4
15°44'16"	88°35'30"	20	2000	m/s	5.6	5.0	4.4	4.4	5.6	5.6
15°44'16"	88°35'30"	20	2001	m/s	5.6	5.6	4.4	5.6	4.9	4.4
15°44'16"	88°35'30"	20	2002	m/s	5.0	5.0	4.8	5.5	5.6	5.4
15°44'16"	88°35'30"	20	2003	m/s	5.7	5.4	5.1	5.5	5.6	5.4

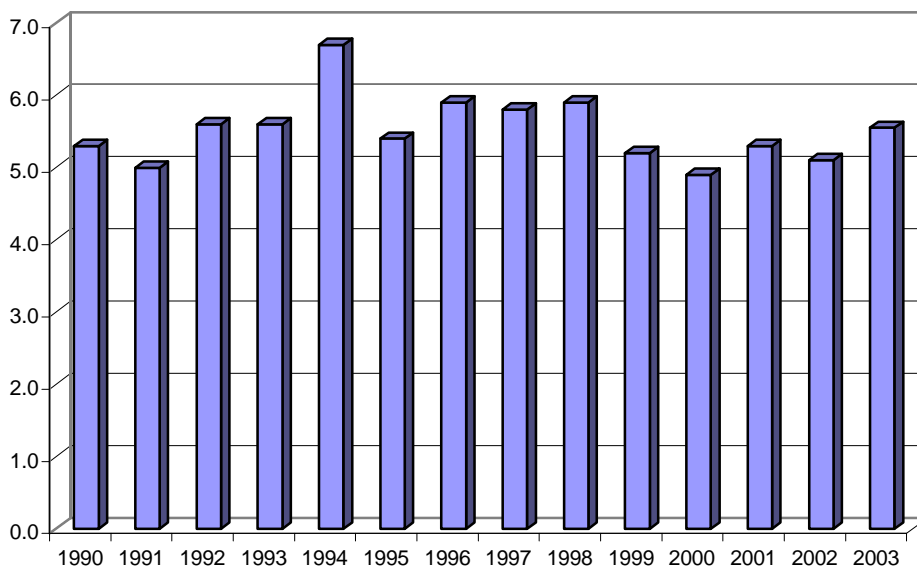
Las velocidad del viento están medidas en metros sobre segundo (m/s), la tabla nos muestra los promedios de velocidad del viento por mes en los últimos catorce años con promedio de 5.5 m/s; la dirección del viento es bastante variable y predominan la direcciones provenientes del este del municipio.

### 3.2.2 Gráficos del análisis de vientos

En la gráfica podemos ver el promedio de velocidades anual durante los últimos catorce años

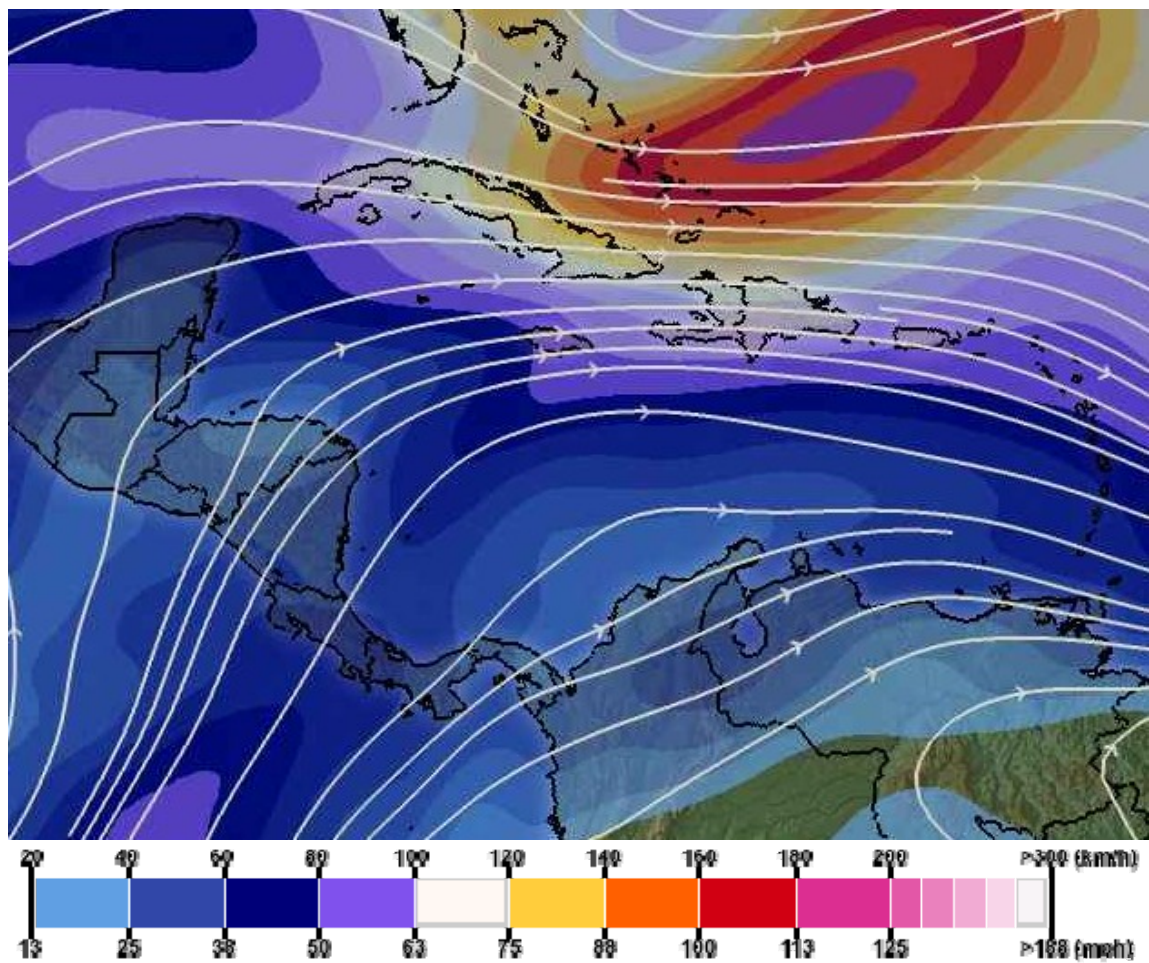
Figura No. 10. Velocidades promedio del viento

Velocidades de los vientos en el municipio de Puerto Barrios, Izabal



### 3.2.3 Mapa eólico del municipio de puerto barrios, Izabal

Figura No. 11. Velocidades de los vientos en Centro América



En la figura 10 se muestra el promedio de las velocidades del viento en Centro América, en Guatemala tenemos un promedio de velocidad entre 20 a 40 m/s (13-25 mph); con dirección sur-este. En este gráfico se puede observar

otras velocidades en distintos países de Centro América, Sur América y América del Caribe.

Figura No. 12. Mapa eólico del departamento de Izabal

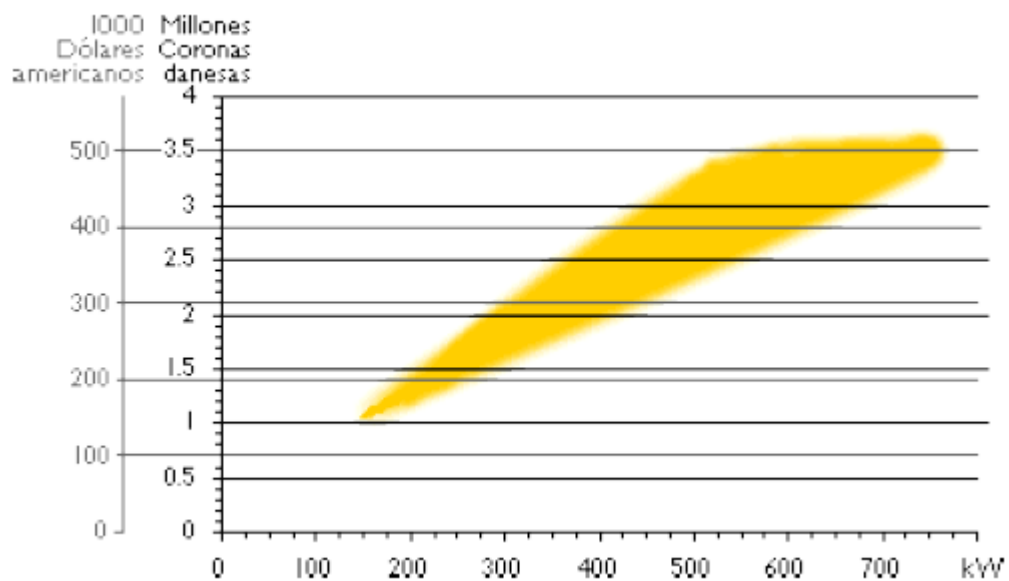


En Puerto Barrios tenemos un promedio de velocidad de 5.5 m/s; sin embargo, en otra regiones del departamento de Izabal tenemos promedios de velocidades relativamente altos; por ejemplo, en el municipio de Livingston contamos con un promedio de 6.6 m/s; esto se debe a la distribución geográfica del lugar, así como la rugosidad de la región.

## 4. ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

### 4.1 Costos de un aerogenerador

Figura No. 13. Costos de aerogeneradores



El gráfico de arriba da una idea del rango de precios de los aerogeneradores modernos conectados a red, en febrero de 1998. Como puede ver, los precios varían para cada tamaño de aerogenerador. Los motivos

son, p.ej., las diferentes alturas de las torres y los diferentes diámetros de rotor. Un metro extra de torre le costará aproximadamente 1500 dólares americanos; Una máquina especial para vientos suaves con un diámetros de rotor relativamente grande será más cara que una máquina para vientos fuertes con un diámetro de rotor pequeño.

#### **4.1.1 Economías a escala**

Al cambiar de una máquina de 150 kW a otra de 600 kW los precios se triplicarán, en lugar de cuadruplicarse; porque hasta cierto punto existen economías de escala, p.ej. la cantidad de mano de obra que participa en la construcción de una máquina de 150 kW no es muy diferente de la que hace falta para construir una máquina de 600 kW; P.ej., las características de seguridad, la cantidad de electrónica necesaria para hacer funcionar una máquina pequeña o una grande es aproximadamente la misma. También puede haber economías de escala en la operación de parques eólicos en lugar de operar turbinas individuales, aunque éstas tienden a ser bastante limitadas.



#### 4.1.2 Máquinas típicas de 600 kW en el mercado actual

Incluso, si los precios son muy similares en el rango de 500 a 750 kW, no tiene necesariamente que elegir una máquina con un generador lo más grande posible. Una máquina con un gran generador de 750 kW (y un diámetro de rotor relativamente pequeño) puede generar menos electricidad que otra de 450 kW, si está situada en una zona de vientos suaves. Hoy en día el caballo de carga es típicamente una máquina de 600 kW con una altura de torre de 40 a 50 metros y un diámetro de rotor de alrededor de 43 metros. En el ejemplo de abajo utilizamos una típica turbina danesa de 600 kW (cantidades aproximadas en dólares americanos, los precios pueden variar con la altura de la torre, el diámetro del rotor y las especificaciones locales):

	Moneda * <input type="text" value="USD"/>
Aerogenerador típico de 600 kW	<input type="text" value="400 000 - 500 000"/>
Costes de instalación típicos	<input type="text" value="100 000 - 150 000"/>
Total	<input type="text" value="500 000 - 650 000"/>

## 4.2 Costos de instalación de aerogeneradores

Los costes de instalación incluyen las cimentaciones, normalmente hechas de hormigón armado, la construcción de carreteras (necesarias para transportar la turbina y las secciones de la torre hasta el lugar de la construcción), un transformador (necesario para convertir la corriente a baja tensión (690 V) de la turbina a una corriente a 10-30 kV para la red eléctrica local), conexión telefónica para el control remoto y vigilancia de la turbina, y los costes de cableado, es decir, el cable que va desde la turbina hasta la línea de alta tensión de 10-30 kV.

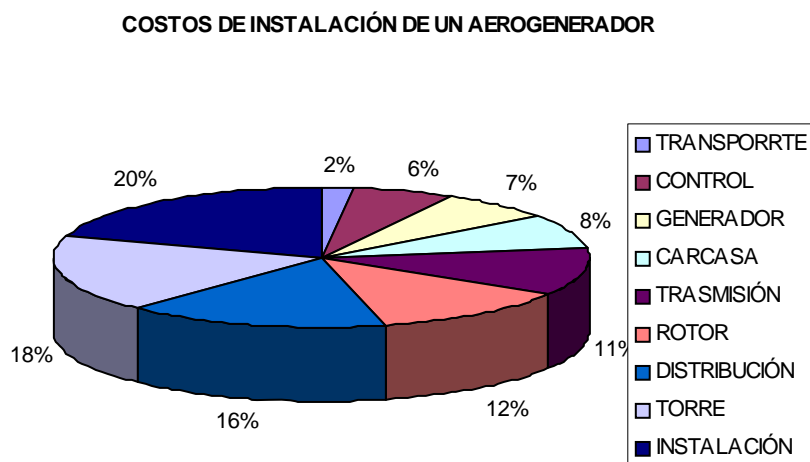
Figura No. 14. Parque eólico de Novar (Escocia), en construcción en un páramo, julio 1997. Foto &COPY; 1997 Steffen Damborg



### 4.2.1 Los costes de instalación

Obviamente, los costes de las carreteras y de las cimentaciones dependen de las condiciones del suelo, es decir, de cuán barato y fácil sea construir una carretera capaz de soportar camiones de 30 toneladas. Otro factor variable es la distancia a la carretera ordinaria más cercana; los costes de llevar una grúa móvil hasta el sitio, y la distancia a una línea de alta tensión capaz de manejar la producción de energía máxima de la turbina. La conexión telefónica y el control remoto no es una necesidad, pero a menudo es bastante barato, por lo que resulta es posible incluirlo en la instalación de una turbina. Los costes de transporte de la turbina pueden entrar en los cálculos, si el emplazamiento es muy remoto, aunque normalmente no son superiores a unos 15,000 dólares americanos.

Figura No. 15.



### **4.3 Costes de operación y de mantenimiento en aerogeneradores**

Los aerogeneradores modernos están diseñados para trabajar alrededor de 120,000 horas de operación a lo largo de su tiempo de vida de diseño de 20 años. Esto supone mucho más que un motor de automóvil, que dura generalmente alrededor de 4,000 a 6,000 horas.

#### **4.3.1 Costes de operación y mantenimiento**

La experiencia muestra que los costes de mantenimiento son, generalmente, muy bajos cuando las turbinas son completamente nuevas, pero que aumentan algo conforme la turbina va envejeciendo. Estudios llevados a cabo en 500 aerogeneradores daneses instalados en Dinamarca desde 1975 muestran que las nuevas generaciones de turbinas tienen relativamente menos costes de reparación y mantenimiento que las generaciones más viejas (los estudios comparan turbinas que tienen la misma edad pero que pertenecen a distintas generaciones). Los aerogeneradores daneses más antiguos (25-150 kW) tienen costes de reparación y mantenimiento de una media de alrededor del 3 por ciento de inversión inicial de la turbina.

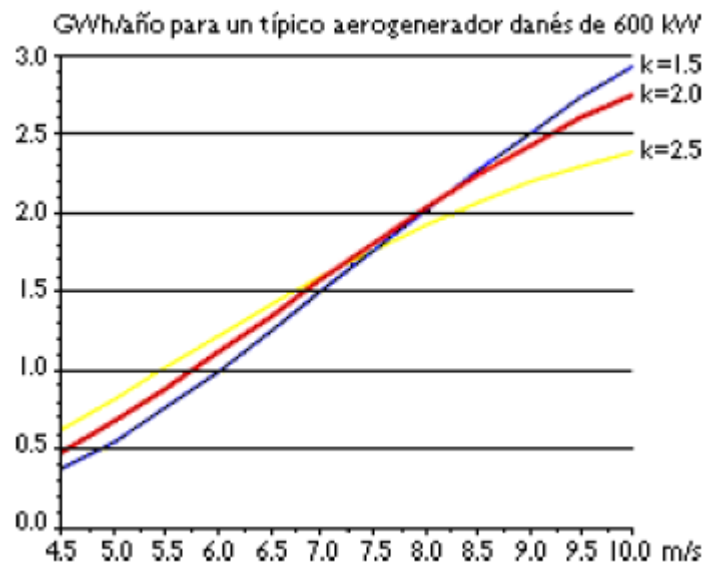
Las turbinas más nuevas son en promedio sustancialmente más grandes, lo que tendería a disminuir los costes de mantenimiento por kW de potencia instalada (no necesita revisar una gran turbina moderna más a menudo que otra pequeña). Para las máquinas más nuevas los rangos estimados son del 1.5% al 2% al año de la inversión inicial de la turbina.

La mayoría de costes de mantenimiento son una cantidad anual fija para el mantenimiento regular de las turbinas; aunque algunos prefieren utilizar en sus cálculos una cantidad fija por kWh producido, normalmente alrededor de 0,01 dólares americanos/kWh. Este método se apoya en que el desgaste y la rotura en la turbina aumentan con la producción.

#### 4.4 Ingresos en aerogeneradores

##### 4.4.1 Producción de energía en un aerogenerador

Figura No.16. Producción -promedio



El gráfico muestra como la producción de energía anual (en millones de kWh) varía con la intensidad del viento de la localización. Con una velocidad de viento

media de, 6.75 m/s a la altura del buje, obtendrá alrededor de 1,5 millones de kWh de energía anuales.

Como puede ver, la producción de energía anual varía aproximadamente con el cubo de la velocidad del viento a la altura del buje. Además, como de sensible es la producción de energía respecto a la velocidad del viento varía con la distribución de probabilidad del viento. En este gráfico tenemos tres ejemplos con diferentes valores de  $k$  (factores de forma); en este ejemplo se trabaja con la curva roja ( $k=2$ ).

#### **4.4.2 Factor de disponibilidad**

Las cifras de producción de energía anual consideran que los aerogeneradores están en condiciones de servicio y preparados para girar todo el tiempo. Sin embargo, en la práctica, los aerogeneradores necesitan reparación e inspección una vez cada seis meses para asegurar que siguen siendo seguros. Además, las averías de componentes y los accidentes (fallos de suministro eléctrico) pueden inutilizar los aerogeneradores.

Estadísticas muy extensas muestran que los fabricantes alcanzan, en consecuencia, factores de disponibilidad de alrededor del 98%, es decir, las máquinas están preparadas para funcionar más del 98% del tiempo. La producción de energía total se ve generalmente afectada en menos de un 2%, dado que los aerogeneradores nunca están en funcionamiento durante los vientos fuertes.

Un grado tan alto de fiabilidad es extraordinario, comparado con otros tipos de maquinaria, incluyendo otras tecnologías de generación de electricidad. Así pues, el factor de disponibilidad suele ignorarse en los cálculos económicos, dado que hay otras incertidumbres (p.ej. la variabilidad del viento) que son mucho mayores. Sin embargo, no todos los fabricantes del mundo tienen un buen registro de fiabilidad, por lo que siempre es una buena idea revisar el historial de los fabricantes y la capacidad de servicio antes de salir y comprar un nuevo aerogenerador.

## **4.5 Energía eólica y tarifas eléctricas**

### **4.5.1 Tarifas de energía eléctrica**

Generalmente, las compañías eléctricas están más interesadas en comprar electricidad durante las horas de picos de carga (máximo consumo) de la red eléctrica, pues de esta forma se ahorran la utilización de electricidad de unidades generadoras menos eficientes. De acuerdo con un estudio sobre los costes y beneficios sociales de la energía eólica realizado por el instituto danés AKF (ver la página de enlaces), la electricidad eólica puede ser de un 30 a un 40% más valiosa para la red que si se produjera de forma totalmente aleatoria.

En algunas áreas, las compañías eléctricas aplican tarifas eléctricas distintas dependiendo de la hora del día, cuando compran la energía eléctrica de los propietarios privados de aerogeneradores.

Normalmente, los propietarios de aerogeneradores reciben menos del precio normal de la electricidad para el consumidor, pues ese precio suele incluir el pago a la compañía eléctrica por los costes de operación y mantenimiento de la red eléctrica, además de sus beneficios.

#### **4.5.2 Crédito medioambiental**

Muchos gobiernos y compañías eléctricas en el mundo quieren promover el uso de fuentes de energía renovables. Por lo tanto, ofrecen una prima medioambiental a la energía eléctrica, p.ej. en forma de devolución de tasas eléctricas etc. sobre las tasas normales pagadas por el suministro de energía a la red.

#### **4.5.3 Crédito de capacidad**

Para entender el concepto de crédito de capacidad, es necesario entender a su opuesto, tarifas de potencia: los grandes consumidores de electricidad suelen pagar tanto por la cantidad de energía (kWh) que consumen como por la máxima cantidad de potencia que obtienen de la red, es decir, los consumidores que quieren obtener una gran cantidad de energía muy rápidamente deben pagar más. La razón de ello es que obligan a la compañía eléctrica a tener una mayor capacidad de generación total disponible (mayor potencia de planta).



Las compañías eléctricas tienen que considerar añadir capacidad de generación cuando le proporcionan acceso a red a un nuevo consumidor. Pero con un número modesto de aerogeneradores en la red, los aerogeneradores son casi como "consumidores negativos", como se explica en la sección sobre aerogeneradores en la red eléctrica: posponen la necesidad de instalar otra nueva capacidad generadora. Así pues, muchas compañías eléctricas pagan una cierta cantidad anual a los propietarios de aerogeneradores en concepto de crédito de capacidad.

El nivel exacto de crédito de capacidad varía. En algunos países se paga en función de un número de mediciones de la potencia producida durante el año. En otras áreas, se utiliza algún tipo de fórmula. Finalmente, en diversas áreas no se proporciona ningún tipo de crédito de capacidad, pues se considera como una parte de la tarifa de energía. En cualquier caso, el crédito de capacidad es una cantidad por año bastante baja.

#### **4.5.4 Costes de potencia reactiva**

La mayoría de aerogeneradores están equipados con los denominados generadores asíncronos, también llamados generadores de inducción (ver la sección sobre partes eléctricas de un aerogenerador). Estos generadores necesitan corriente de la red eléctrica para crear un campo magnético dentro del generador con el fin de funcionar. Como resultado, la corriente alterna de la red eléctrica cercana a la turbina se verá afectada (desplazamiento de fase). En algunos casos esto puede hacer que disminuya (aunque en algunos casos

aumenta) la eficiencia de la transmisión de electricidad en la red vecina, debido al consumo de potencia reactiva.

En casi todo el mundo las compañías eléctricas exigen que los aerogeneradores estén equipados con una batería de condensadores eléctricos conmutables, que compensan parcialmente este fenómeno (por razones técnicas no quieren una compensación total). Si la turbina no cumple las especificaciones de la compañía eléctrica, el propietario puede tener que pagar cargos adicionales. Normalmente, este no es un problema que preocupe a los propietarios de aerogeneradores, ya que los fabricantes experimentados suministran por rutina de acuerdo con las especificaciones de la compañía eléctrica local.

## **4.6 Economía básica de inversiones**

### **4.6.1 Rentabilidad social de las inversiones energía eólica**

Con frecuencia se pierden de vista los beneficios medioambientales, la financiación y los impuestos. Estos asuntos varían enormemente de un país a otro, aunque no hacen que ninguna nación sea más rica o más pobre: sólo sirven para redistribuir los ingresos. Lo que la sociedad obtiene por recompensa de la inversión en energía eólica es electricidad no contaminante.

#### **4.6.2 Guía de los inversores privados**

Las inversiones que tienen una alta tasa de rentabilidad antes de impuestos tendrán una tasa de rentabilidad incluso mayor después de impuestos. Esto sorprende a la mayoría. Sin embargo, la razón es que los reglamentos de amortización para toda esta clase de negocios tienden a ser muy favorables en la mayoría de países. Con rápidas amortizaciones de los impuestos obtiene una mayor rentabilidad de su inversión, dado que le permite deducir la pérdida de valor de su activo más rápidamente de lo que en realidad lo hace. Esto no es nada particular de los aerogeneradores; y se produce cierto para todo tipo de inversiones financieras.

#### **4.6.3 Trabajos en valores reales, no en valores nominales**

Una inversión en un aerogenerador le proporciona una rentabilidad real, es decir, electricidad, y no sólo una rentabilidad financiera (dinero efectivo). Esto es importante, porque si espera alguna inflación general en los precios durante los próximos 20 años, puede esperar que los precios de la electricidad sigan la misma tendencia. Así pues, esperaremos que los costes de operación y mantenimiento sigan aproximadamente la misma tendencia de precio que la electricidad.

Si esperamos que todos los precios se muevan paralelamente (con las mismas tasas de crecimiento) en los próximos 20 años, se pueden hacer los cálculos sencillamente: no se necesitan ajustar los cálculos a la inflación, simplemente se calculan al nivel de precios del año base, es decir, del año de inversión. En otras palabras, cuando trabajan con valores reales, se hace con dinero que representa una cantidad fija de poder adquisitivo.

#### 4.7 Aspectos económicos de la energía eólica

El gráfico nos muestra cómo varía el coste de la electricidad producida por un aerogenerador típico danés de 600 kW con la producción anual. La relación es en realidad muy simple: si produce el doble de electricidad por año, paga la mitad de coste por kilovatio.

Figura No.17. Costos de la electricidad. Turbina 600kW

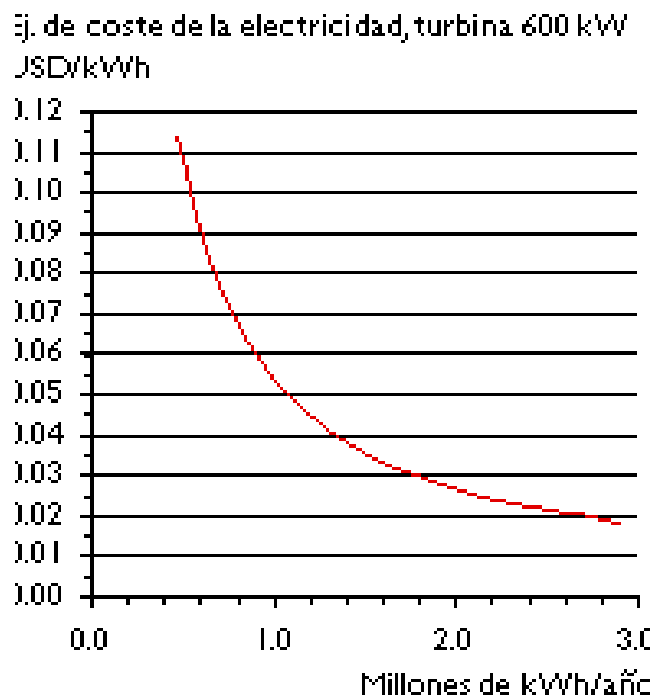
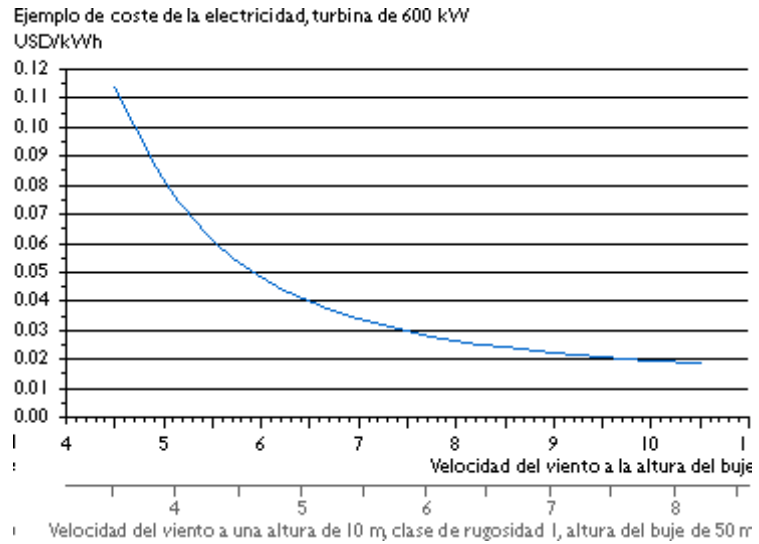


Figura No.18. Costos de la electricidad.



El ejemplo es para un aerogenerador de 600 kW con una vida de proyecto de 20 años; inversión=585,000 dólares americanos, costes de instalación incluidos; costes de operación y mantenimiento=6.750 dólares americanos/año; 5% anual de tasa de interés real; producción de energía anual de la turbina tomada del programa de cálculo de la densidad de potencia utilizando una distribución de viento de Rayleigh (factor de forma=2).

Observe que las velocidades del viento a una altura de buje de 50 metros son alrededor de un 28 a un 35 por ciento mayores que a una altura de buje de 10 metros, que es la que normalmente se utiliza para observaciones meteorológicas. Mire el eje gris de la parte inferior del gráfico para ver cómo las velocidades del viento a 10 metros de altura pueden convertirse en velocidades de viento mayores. Por ejemplo, una velocidad de viento de 6,25 m/s a 10 metros de altura en una clase de rugosidad 1 se convertirá en 8 m/s a una altura de buje de 50 m.

## **5. DISEÑO DE UN PARQUE EÓLICO MODELO PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BARRIOS**

### **5.1 Configuración del sistema eléctrico aislado de la red**

#### **5.1.1 Especificaciones del equipo**

##### **5.1.1.1 Especificaciones del aerogenerador**

El aerogenerador por utilizar es una turbina marca Whisper modelo AIR 403 con las características y especificaciones descritas a continuación:

###### **5.1.1.1.1 Características**

- Aspas aerodinámicas de paso variable de fibra de carbono.
- Bastidor de aleación de aluminio de calidad de aviación
- Alternador de imanes permanentes de neodimium ( sin escobillas), exclusivo.
- Regulador interno de carga electrónico sofisticado
- El elemento de protección controla voltaje y RPM
- Sin necesidad de mantenimiento - solamente dos piezas móviles

- Auto-freno-característica exclusiva que retarda el AIR a una giro silenciosa cuando las baterías se cargan.

#### 5.1.1.1.2 Especificaciones:

- |  |           |
|--|-----------|
| • Diámetro de rotor                    | 1,14 mts  |
| • Peso                                 | 6 Kg.     |
| • Velocidad mínima de viento requerida | 3 m/s     |
| • Voltaje de salida                    | 12-24 VCC |
| • Potencia máxima                      | 400 W     |

#### 5.1.1.1.3 Características de fabricación

**Aspas:** construidas de material compuesto por fibra de carbono, de alta resistencia y flexibilidad que al flexionarse por la acción de vientos tiende a regular la velocidad de giro del rotor.

**Alternador:** el alternador sin escobillas se construye con imanes permanentes de tierras raras, neodymium, posee un rendimiento inigualable por ninguno de los de su tipo. Además, por su construcción el peso del rotor es extremadamente bajo, se puede lograr de esta manera velocidades muy altas, de hasta 3000 rpm y en consecuencia un poder de generación eléctrica asombroso para un equipo tan pequeño y económico



**Elemento electrónico de control y regulación:** el AIR está equipado por un moderno sistema de control electrónico especialmente diseñado que permite regular fácilmente la tensión máxima que entregará a las baterías de acuerdo a las especificaciones de las mismas. Esta placa electrónica, además, regula la velocidad máxima a la que giraran las aspas.

### 5.1.1.2 Bateria de ciclo profundo

La batería recomendada para el sistema ( en este caso utilizaremos dos baterías conectadas en serie) es una batería Trojan T-105 de Ciclo profundo que tiene las siguientes características:

- Voltaje 6V
- Amperios hora 225Ah
- Peso 28 Kg
- Dimensiones 264\*181\*284 mm

#### 5.1.1.2.1 Baterías *deep cycle*

El término *deep cycle* se refiere a las baterías que tienen la capacidad de descargarse completamente cientos de veces. La diferencia principal de las baterías *deep cycle* y la de un automóvil convencional es que la última está hecha para proveer una rápida cantidad de energía miles de veces en su tiempo de vida, mientras que solamente es capaz de descargarse completamente menos de 50 veces durante su vida. Por su parte las baterías *deep cycle* están hechas para descargarse cientos de veces.

### 5.1.1.2.2 Especificaciones

Las especificaciones de las baterías *deep cycle* incluyen el *cold cranking ampere* (CCA), *marine cranking ampere* (MCA), la capacidad de reserva (RC), y los *amperes hora* (Ah). *Cold cranking ampere* (CCA) es la corriente que la batería proporciona a  $-17.8$  grados centígrados, mantiene al menos un voltaje de 7.2 voltios en una batería de 12 voltios. *Marine cranking ampere* (MCA) es la cantidad de corriente de descarga a 0 grados centígrados, la batería puede mantener al menos un voltaje de 7.2 voltios a esta temperatura. La capacidad de reserva (RC) es la cantidad de tiempo en la que una batería puede entregar 25 amperios a 0 grados centígrados sin bajar de 10.5 voltios de la batería de 12 voltios. Los *amperes hora* (Ah) es la cantidad de corriente que la batería puede entregar multiplicada por la cantidad de horas de trabajo. La batería baja su voltaje de 10.5 voltios a una temperatura de 26 grados centígrados.

### 5.1.1.3 Inversor o invertidores de corriente

Los invertidores son los equipos que convierten la corriente directa DC de las baterías a corriente alterna AC. Estos equipos permiten encender casi cualquier tipo de aparato eléctrico que trabaje a 110 voltios, desde licuadoras, televisiones, taladros hasta refrigeradores que requieren de una alta demanda de energía para arrancar. Se pueden encontrar de diferentes capacidades que van desde los 100 watts hasta los 3,600 watts.

Para este proyecto se utilizarán un inversor prosine de 1800 vatios con las siguientes características:

- Inversor 1800 (resistencia a la sobre tensión 2900 vatios)
- Salida de onda senoidal real
- Pantalla LCD extraíble que se puede montar en cualquier lugar para un control remoto del sistema
- Terminales de CC exclusivos que permiten realizar conexiones en 180 grados para facilitar la conexión en espacios reducidos
- Modelo de ahorro de energía para consumo de sólo 1.5 vatios cuando no hay carga

#### 5.1.1.3.1 Especificaciones eléctricas

• Modelo	Prosine 1800
• Potencia de salida	1800 vatios
• Resistencia a la sobretensión	2900 vatios
• Corriente salida máxima	45 A
• Voltaje de salida (sin carga)	120 VCA RMS +/- 3%
• Voltaje de salida (carga completa)	120 VCA RMS +/-4%,-10%
• Frecuencia de salida	60 Hz +/-0.05 (regulado por cristal)
• Forma de onda de salida	Onda sinusoidal real (<3% THD)
• Eficiencia máxima	89% / 90%
• Consumo de energía sin carga (modo de búsqueda)	< 1.5 W
• Consumo de energía sin carga (modo reactivo)	< 22 W
• Rango de voltaje de entrada (12 v/ 24v) VCC	10 – 16 VCC / 20 – 32 VCC

- Rango de temperatura de operación 0 °C – 60 °C
- Dimensiones (h\*a\*l) 115\*280\*390 mm
- Peso 7.5 Kg

### 5.1.2 Costos del equipo

Los costos del equipo que se utilizaran están dados en en dólares americanos

#### Costos del Equipo

Tabla No.IX

Cantidad	Descripción	Valor (us \$)
1	Aerogenerador land wind 403 400 W	595.00
2	Baterías Trojan T-105 220 AH 6V	220.00
1	Inversor Prosine 1800 vatios	1,485.00
1	Kit Torre 13.716 mts (45 ft)	219.00
	Total	2,519.00

Según el Banco de Guatemala la cotización del dólar en los últimos tres meses tuvo un promedio de Q. 8.15 por dólar, que da un total en quetzales es de Q. 20,529.85. (\$ 2,519.00)

### 5.1.3 Costos de instalación

El cálculo de los costos de instalación se basa en el 10% del costo total del equipo ( $\$ 2,519.00 * 0.10 = \$ 251.90$ ) se realiza esta operación se obtiene un costo de instalación de \$ 251.00; esto se utilizará en la compra de material necesario para la fabricación de una plancha de concreto de 15\*15 metros; así como otros accesorios no incluidos, como ejemplo cables, barra para la tierra física, cinta aislante, ductos para transportar los cables a las baterías, así la construcción del lugar donde se colocarán la baterías y el inversor.

### 5.1.4 Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento son mínimos ya que el sistema no requiere de mantenimiento alguno, pero se recomienda inspeccionar el equipo como se describe a continuación:

**a) Aerogenerador** la turbina Air 403 está diseñada para no tener mantenimiento alguno pero si es conveniente verificar el buen funcionamiento de la misma, revisando que no hayan objetos indeseados en las aspas (bolsas de *nylon*, cuerdas, etc); chequear con regularidad las conexiones eléctricas para que éstas estén fijas y libres de suciedad.

**b) Baterías** se recomienda revisar el nivel del líquido de la batería por lo menos una vez por semana, si éste se encuentra bajo rellenar únicamente con agua destilada, revisar un vez al mes las terminales que estas estén limpias, mantener la batería en un lugar ventilado fresco.

**c) Inversor** el inversor Prosine 1800 está diseñado para no tener ningún mantenimiento alguno, sin embargo hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones para un buen funcionamiento: Revisar las conexiones tanto las que vienen de las baterías hacia el inversor así como las que van del inversor al sistema de distribución, mantener el inversor en un lugar fresco y ventilado.

**d) Torre** en el caso de la torre, el mantenimiento más adecuado es la de chequeo de todas las juntas, las uniones para evitar que la torre tenga algún movimiento no deseado.

## 5.2 Distribución de los aerogeneradores

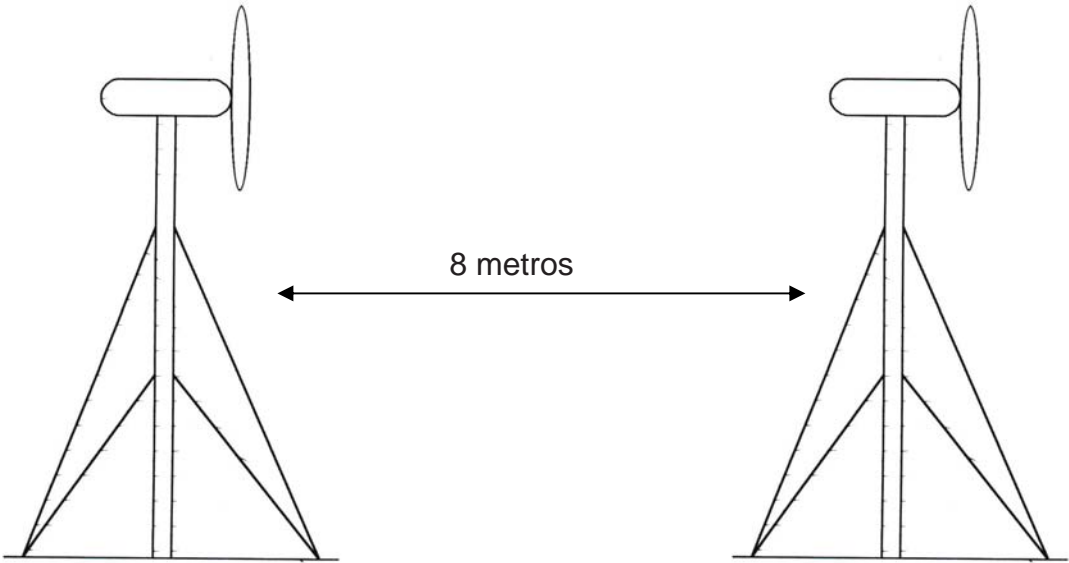
En este caso se utilizará un solo aerogenerador, pero se puede colocar más de uno para mantener por mayor tiempo la carga de las baterías, en el caso de colocar más de un aerogenerador se deben colocar a una distancia de 7 veces el diámetro del rotor, en este caso el diámetro del aerogenerador es de 1.14 m esto significa:

$$1.14m \times 7 = 7.98m \approx 8.00m$$

Esta separación se requiere para que no existan interferencias entre ambos, como para evitar una mayor concentración de ruido que producen al girar los aerogeneradores.

Por facilidad se usará una distancia mínima de 8 metros entre aerogeneradores

Figura No. 19. Esquema de distribución de aerogeneradores

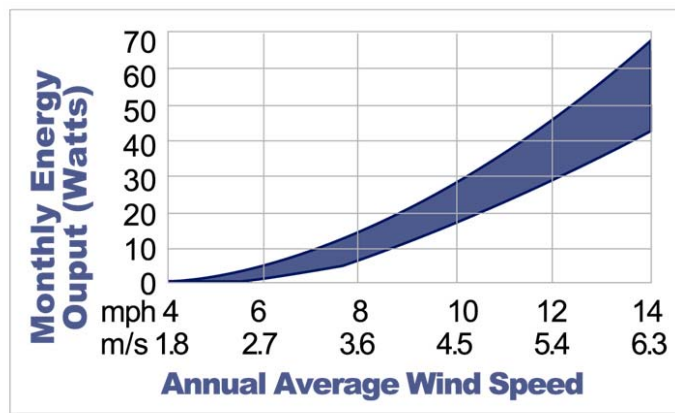


### 5.3 Potencia nominal generada

#### 5.3.1 Curvas de potencia instantánea y rendimiento

Figura No. 20. Energía mensual producida (kWh)

Fuente: [www.sunair.com](http://www.sunair.com), febrero 2004.

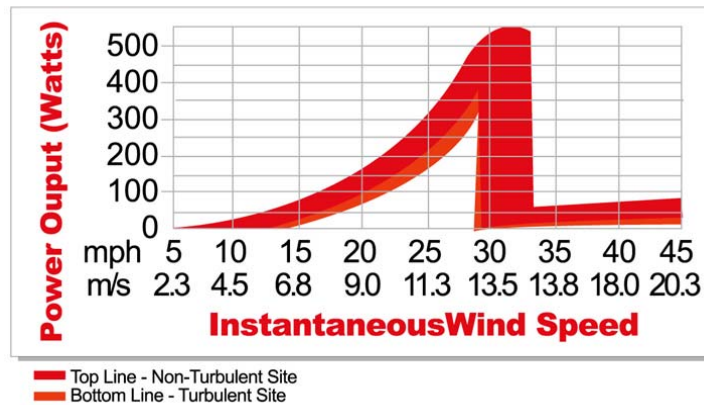


En la figura No 20 muestra la producción de energía mensual (kWh) contra el promedio anual de velocidad de viento (m/s); esto muestra que según el dato promedio de la velocidad de viento (5.5 m/s) se tiene una producción mensual entre 30 a 40 kWh.



Figura No.21. Producción de la turbina

Fuente: www.sunair.com, febrero 2004



En la figura No 21 se muestra la producción de la turbina (watts) contra la velocidad instantánea del viento(m/s), en este caso se tiene una producción de aproximadamente 50 watts.

El sistema está diseñado para una casa de habitación sencilla, con dos dormitorios, un baño, sala comedor y cocina; el consumo energético de esta casa se describe en el cuadro de abajo:

Consumos generados en una vivienda

Tabla No. X

Consumo	Potencia (watts)	Horas de uso diarias	Energía consumida
Iluminación habitaciones y baño	60	6	360
Iluminación cocina	20	6	120
Iluminación sala y comedor	20	4	80
Refrigeradora	150	12	1800
Varios	200	2	400

El consumo total energético es de 2.760 kWh.. Esta casa tendrá que abonar mensualmente el costo correspondiente a  $2.76 \times 30 \text{ días} = 82.8 \text{ kWh}$ .

Estos valores de consumo son calculados para una casa bien iluminada con lámparas tipo bajo consumo, habitada por una familia tipo, con un criterio de consumo ahorrativo.

El costo de energía ahorrado según los últimos datos sería de 76 kWh \*  
 $Q 0.6980/\text{kWh} + Q 42.64 = Q 100.43$

## CONCLUSIONES

1. El sistema eólico es un dispositivo generador de energía eléctrica que no tiene impacto en el medio ambiente, ya que se aprovecha la energía proporcionada directamente por el viento.
2. Los costos de funcionamiento y operación iniciales son relativamente altos; sin embargo, este proyecto auto genera beneficios económicos en el ahorro energético del lugar, ya que no requiere fuentes externas de energía eléctrica para su funcionamiento.
3. La ventaja más importante de generar energía eléctrica por este medio es la eficiencia, que puede alcanzar hasta un 44%, evitando así el uso de hidrocarburos los cuales contaminan el medio ambiente; ya que la energía del viento es un recurso inagotable.
4. La energía eólica es utilizada para la generación de energía eléctrica, así como para la extracción de agua en pozos y para alimentar motores trifásicos en los sistemas de riego e innumerables proyectos.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el sistema eólico en combinación con paneles solares (sistemas híbridos), para lograr una mayor eficiencia al momento de cargar las baterías. Así como utilizar más de un aerogenerador.
2. Para este sistema es necesario utilizar baterías de ciclo profundo, ya que son las más adecuadas para la instalación; por lo que se utilizará un banco de baterías de 400 Ah.
3. Difundir el uso de aerogeneradores para la generación de energía eléctrica en otras regiones del país; por ejemplo el municipio de Livingston que es una región propicia para el uso de los mismos.
4. Utilizar el equipo requerido por el fabricante para realizar la instalación del sistema propuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. M. R. Vegaban, S. Karekezi. **Energy for rural development**, 1 era edición. Suecia: Editorial Zed Books, 1992.
2. Pagina Web: [www.winpower.org](http://www.winpower.org), agosto 2003.
3. Rodríguez Rouanet, Francisco. **Izabal, Puerto Barrios**, 1 era edición. Guatemala: Editorial Litogres.
4. Dintersa, **Manual para turbinas Land Wind Air 403**, Septiembre 2001.
5. Dintersa, **Manual de instalación de torre de 45 pies para turbina Air 403**, Febrero 2001.
6. López Hoens, Carlos Roberto y Hesler Eduardo Acevedo Guerra. **Tesis Guía para la instalación y operación de los sistemas solar y sistemas eólico del parque tecnológico**, Tesis Ingeniería Mecánica. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2003.
7. Pagina web: [www.ine.gob.gt](http://www.ine.gob.gt), enero 2004.