



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

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA,  
A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR,  
ITUGS DE PALÍN, ESCUINTLA**

**Hugo Arturo Pirique López**

Asesorado por el Ing. Hugo Leonel Alvarado de León

Guatemala, enero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA,  
A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR,  
ITUGS DE PALÍN, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HUGO ARTURO PIRIQUE LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. HUGO LEONEL ALVARADO DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ENERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADOR	Ing. Julio Sebastián Granja Pérez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA,  
A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR,  
ITUGS DE PALÍN, ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha febrero del 2011.



**Hugo Arturo Pirique López**

Guatemala, 25 de septiembre de 2012


Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas  
Director de Escuela Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Urquizú:

Por este Medio Hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación Titulado "Estudio de Factibilidad de realización de un proyecto de Energía Eólica, a realizarse en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-Sur, ITUGS de Palín, Escuintla", del estudiante Hugo Arturo Pirique López, con carné No. 199517046.

Habiendo encontrado dicho trabajo totalmente satisfactorio, lo remito a su consideración para proceder a su respectiva revisión.

Atentamente,

  
Hugo Leonel Alvarado de León  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 5,334  
Hugo Leonel Alvarado de León  
Ingeniero Industrial  
Colegiado No. 5334  
Asesor



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA, A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR, ITUGS DE PALÍN, ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Arturo Pirique López**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

*Byron Gerardo Chocooj*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO 4,509

Guatemala, octubre de 2012.

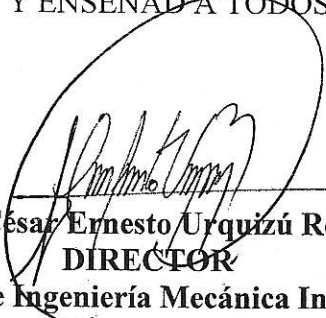
/mgp



REF.DIR.EMI.007.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA, A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR, ITUGS DE PALIN, ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Arturo Pirique López**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2013.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE ENERGÍA EÓLICA, A REALIZARSE EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA-SUR, ITUGS DE PALÍN, ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario: **Hugo Arturo Pirique López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 22 de enero de 2013



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser el orden del Universo y por lo tanto la principal influencia en mi vida.
<b>Mis padres</b>	María Cristina López Quispal Vda. de Pirique y Lauro Pirique Rancho (q.e.p.d.) por su amor infinito.
<b>Mi hija</b>	María Rosario, que mi triunfo sea un ejemplo para su vida.
<b>Mis hermanos</b>	Lauro Celso, José Orlando, Alba Beatriz y Zulma Maribel Pirique López. Por ser una importante influencia en mí ser.
<b>Mis sobrinos</b>	María Cristina del Pilar, Lauro Alejandro, Andrea Sofía y Mónica Lourdes. Por ser ángeles en mi vida.
<b>Toda mi familia</b>	Por su cariño, ayuda brindada en todo momento y ejemplo de vida, en especial a mi tío Juan Guillermo López.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el alma mater para formarme y prepararme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el centro de sabiduría para la transmisión de conocimientos.
<b>Mis amigos en general</b>	De quienes he aprendido el verdadero valor de la amistad, y por apoyarme en los momentos más difíciles de mi carrera.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1. Qué es un aerogenerador.....	1
1.2. Energía eólica.....	2
1.3. Historia e industria.....	4
1.3.1. Historia .....	5
1.3.1.1. Molino de viento.....	6
1.3.1.2. Pioneros de los aerogeneradores.....	8
1.3.2. Industria.....	10
1.3.2.1. Inicio de la industria 1970-1980.....	10
1.3.2.2. La industria eólica 1990-2000.....	11
1.3.2.3. Las cifras de la energía eólica 2001 ....	11
1.3.2.4. Industria de la energía eólica en algunos países.....	12
1.3.2.5. La energía eólica en Guatemala.....	16
1.4. Tipos de aerogeneradores.....	18
1.4.1. Clasificación según la posición del eje .....	19
1.4.1.1. Aerogeneradores de eje horizontal.....	19
1.4.1.2. Aerogeneradores de eje vertical .....	20

1.4.2.	Clasificación según el número de palas .....	20
1.4.2.1.	Monopala.....	20
1.4.2.2.	Bipala .....	21
1.4.2.3.	El concepto tripala danés .....	22
1.5.	Descripción y funcionamiento del aerogenerador .....	22
1.5.1.	Partes individuales .....	23
1.5.1.1.	El rotor.....	23
1.5.1.2.	El tren de conversión mecánica .....	25
1.5.1.3.	El generador.....	26
1.5.1.3.1.	Generadores de corriente continua.....	27
1.5.1.3.2.	Generadores de corriente alterna .....	28
1.5.1.4.	El transformador.....	30
1.5.1.4.1.	Transformador ideal .....	31
1.5.1.4.2.	Transformador de potencia.....	31
1.5.1.5.	La torre .....	32
1.5.1.5.1.	Torres de celosía .....	32
1.5.1.5.2.	Torres de mástil tensado con vientos .....	33
1.5.1.6.	Otras generalidades del aerogenerador.....	34
1.5.1.6.1.	El controlador electrónico.....	34
1.5.1.6.2.	El mecanismo de orientación.....	35
1.5.1.6.3.	El anemómetro y la veleta .....	35

	1.5.1.6.4.	El sistema de frenos .....	36
	1.5.1.6.5.	Otros.....	36
1.6.	Aspectos geográficos generales.....		36
	1.6.1.	Marco de referencia.....	37
	1.6.2.	Ubicación y acceso.....	37
	1.6.3.	Clima .....	37
	1.6.4.	Topografía .....	37
	1.6.5.	Vegetación típica del lugar.....	38
1.7.	Aspectos socioeconómicos .....		38
	1.7.1.	Aspectos sociales .....	39
	1.7.2.	Aspectos económicos.....	39
2.	ESTUDIO DE MERCADO .....		41
	2.1.	Antecedentes de los mercados eléctricos rurales .....	41
	2.2.	Características principales del servicio de energía eléctrica ...	42
	2.3.	Demanda de energía eléctrica.....	44
	2.4.	Demanda de potencia pico.....	45
	2.5.	Perfil de los tipos de usuarios.....	45
	2.5.1.	Usuarios institucionales .....	46
		2.5.1.1. Talleres.....	46
		2.5.1.2. Equipo .....	46
		2.5.1.3. Iluminación.....	46
	2.5.2.	Usuarios agroindustriales .....	47
		2.5.2.1. Riego .....	47
		2.5.2.2. Bombeo de agua .....	47
	2.6.	Fuentes de información .....	47
	2.7.	Otros mercados .....	48
	2.8.	Oferta de energía .....	49
	2.9.	Precio de la energía .....	49

2.10.	Beneficios potenciales.....	51
2.10.1.	Para la institución .....	52
2.10.2.	Para el país .....	53
2.10.3.	Para el ambiente .....	53
3.	ESTUDIO TÉCNICO .....	55
3.1.	Localización .....	55
3.1.1.	Macro localización.....	55
3.1.2.	Micro localización .....	57
3.2.	Potencial eólico .....	59
3.3.	Criterios técnico-energéticos.....	61
3.3.1.	Dirección y velocidad del viento .....	61
3.3.2.	Potencia .....	63
3.3.3.	Consideraciones.....	64
3.3.4.	Mediciones .....	70
3.3.5.	Análisis de información .....	73
3.4.	Diseño del parque eólico.....	75
3.4.1.	Aspecto topográfico.....	75
3.4.2.	Aspecto geológico .....	77
3.4.3.	Obra eléctrica .....	77
3.4.4.	Diseño de la subestación .....	78
3.4.5.	Obra civil .....	80
3.4.6.	Distribución.....	81
4.	ESTUDIO ADMINISTRATIVO-LEGAL .....	83
4.1.	Marco legal de los servicios energéticos.....	83
4.2.	Visión .....	85
4.3.	Misión.....	85
4.4.	Objetivos estratégicos .....	87

4.5.	Tipo legal de organización.....	88
4.6.	Estructura orgánica .....	89
4.7.	Logística de la organización .....	90
5.	MEDIO AMBIENTE .....	91
5.1.	Definición de medio ambiente .....	91
5.2.	Importancia del cuidado del medio ambiente .....	91
5.3.	Problemas medioambientales .....	91
5.4.	Estudio de impacto ambiental.....	93
5.4.1.	Definición de estudio de impacto ambiental .....	94
5.4.2.	Componentes básicos .....	94
5.4.2.1.	Evaluación ambiental estratégica .....	94
5.4.2.2.	Evaluación de riesgo ambiental .....	95
5.4.3.	Propósito de un estudio de impacto ambiental .....	95
5.4.4.	Formato del estudio de impacto ambiental .....	97
5.5.	El proceso de captación de viento y el impacto al medio ambiente.....	107
5.5.1.	Identificación de áreas que puedan ser impactadas directa o indirectamente .....	108
5.5.2.	Análisis del impacto que generarán las torres de captación eólica .....	109
5.5.3.	Medidas de mitigación .....	110
6.	ESTUDIO ECONÓMICO .....	113
6.1.	Estructura económica-administrativa.....	113
6.2.	Consumo actual.....	114
6.3.	Estructura del sistema de consumo energético .....	115
6.4.	Análisis de información.....	116
6.5.	Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).....	117

7.	ESTUDIO FINANCIERO .....	119
7.1.	Inversión inicial.....	119
7.2.	Costo de operación .....	120
7.3.	Análisis en el tiempo .....	122
7.4.	Punto de equilibrio.....	122
7.5.	Análisis de sensibilidad .....	124
7.6.	Fuente y forma de financiamiento .....	126
7.7.	Evaluación de riesgos .....	128
	CONCLUSIONES.....	129
	RECOMENDACIONES .....	131
	BIBLIOGRAFÍA.....	133
	APÉNDICES.....	135



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de potencial eólico en Guatemala .....	16
2.	Campos explorados .....	17
3.	Transformador ideal .....	31
4.	Torres híbridas .....	34
5.	Estructura del subsector eléctrico .....	43
6.	Mapa de dirección del viento en Centroamérica .....	55
7.	Clasificación del viento en Centroamérica .....	56
8.	Densidad del viento en Guatemala .....	57
9.	Ubicación geográfica de Palín.....	57
10.	Posición geográfica del ITUGS .....	58
11.	Fotografía de relieve de ubicación del ITUGS.....	58
12.	Dirección del viento en Palín, Escuintla .....	62
13.	Aerogenerador Air-X .....	66
14.	Prestaciones de turbina Air-X.....	67
15.	Producción mensual promedio de turbina Air-X .....	67
16.	Dimensiones del aerogenerador Air-X .....	68
17.	Partes principales del aerogenerador Air-X.....	68
18.	Diseño del sistema eólico.....	69
19.	Velocidad del viento .....	71
20.	Dirección y distribución de velocidad del viento .....	72
21.	Plano de planta del ITUGS.....	76
22.	Fotografía de planta del ITUGS .....	76
23.	Dirección del viento del área de Palín e ITUGS .....	77

24.	Estructura del suministro eléctrico .....	81
25.	Organigrama ITUGS .....	89
26.	Emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	108

## TABLAS

I.	Recursos energéticos en Guatemala.....	17
II.	Consumo mensual de energía eléctrica.....	44
III.	Precio mensual de energía eléctrica ITUGS .....	50
IV.	Consumo mensual de energía eléctrica ITUGS.....	51
V.	Consumo mensual de energía eléctrica.....	66
VI.	Velocidad del viento en ITUGS .....	70
VII.	Formato de estudio de impacto ambiental A.....	98
VIII.	Formato de estudio de impacto ambiental B.....	99
IX.	Formato de estudio de impacto ambiental C .....	100
X.	Formato de estudio de impacto ambiental D .....	101
XI.	Formato de estudio de impacto ambiental E.....	102
XII.	Formato de estudio de impacto ambiental F .....	103
XIII.	Formato de estudio de impacto ambiental G .....	104
XIV.	Formato de estudio de impacto ambiental H .....	105
XV.	Formato de estudio de impacto ambiental I.....	106
XVI.	Precios de pago, consumo mensual y cargo en facturación total de energía eléctrica en ITUGS.....	114
XVII.	Costo de equipos .....	120
XVIII.	Costos de accesorios y complementos.....	121
XIX.	Cálculos del VAN y TIR para PE.....	123
XX.	Análisis de sensibilidad 1 .....	125
XXI.	Análisis de sensibilidad 2.....	126
XXII.	Cálculo del servicio de la deuda .....	127

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>dB</b>	Decibeles
<b><math>\rho</math></b>	Densidad del aire
<b>KE</b>	Energía cinética
<b>J</b>	Julio
<b>kV</b>	Kilo vatio
<b>kVh</b>	Kilo vatio hora
<b>KW</b>	Kilo watt
<b>MW</b>	Mega watt
<b>m</b>	Metros
<b>Q</b>	Quetzales
<b>s</b>	Segundos
<b>VA</b>	Voltio amperio



## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Es la Unidad básica de intensidad de corriente eléctrica.
<b>Corriente eléctrica</b>	Es aquella que fluye en una misma dirección, sin cambiar de polaridad, puede cambiar de intensidad.
<b>Emplazamiento</b>	Situación, colocación de un lugar. Determinación del plazo para la realización de algo.
<b>Energía Eólica</b>	Es el producto del calentamiento diferencial en el planeta que produce la radiación solar.
<b>Factor de planta</b>	Es la relación entre la energía que se produce y la que podría producirse si la máquina generara al 100 por ciento los 365 días del año. Depende de la frecuencia de viento y como esta se ajusta a la curva de potencia de la máquina escogida.
<b>Frecuencia de viento</b>	Es la distribución de las velocidades promediadas por hora, en que el viento sopla a la misma velocidad durante un ciclo de medición, generalmente un año. Esta distribución es fundamental para calcular el Factor de Planta

**Itugs**

Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-Sur

**Potencia**

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.

**Potencia eléctrica**

Se define como la cantidad de energía eléctrica o trabajo, que se transporta o que se consume en una determinada unidad de tiempo.

**Watt**

Es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Es el equivalente a 1 Julio sobre segundo (1 J/seg.) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, el vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA).

## RESUMEN

Se presentan los aspectos históricos de la industria de la energía eólica con cifras para diversos países y Guatemala, además se hace una clasificación sobre los aspectos técnicos y geográficos generales del lugar así como los aspectos socioeconómicos, posteriormente en la segunda parte se hace un análisis del mercado energético para después ahondar en los aspectos de la oferta y demanda real de energía del lugar para la determinación de la oferta a generar, para luego indicar la localización del lugar, aspectos topográficos, geológicos y así determinar el potencial eólico del área, para poder proyectar el diseño del sistema de generación, en la dimensión eléctrica y de obra civil; con ello se analiza el marco legal del mercado energético, así como los objetivos estratégicos del proyecto, enfocando para ello la visión y misión de la misma, así como el diseño de la estructura orgánica y la logística organizacional, tomando en cuenta la estructura administrativa-legal de la institución.

La importancia y cuidado del medio ambiente se presenta en la quinta parte, en relación al impacto que puedan generar al ambiente, así como las ventajas que presenta el proyecto energético con recursos renovables, posteriormente se presenta la estructura económica-administrativa del lugar así como las ventajas económicas que representa tanto para la institución como la repercusión a futuro y por último se indica la inversión inicial del proyecto, enfocando la demanda establecida y con ello los equipos necesarios a instalar, esto nos indicara en conjunto con el estudio técnico los elementos a tomar en cuenta para el análisis de los costos de instalación como de operación, proyectando un análisis de horizonte de tiempo, además de tomar en cuenta los instrumentos financieros y la evaluación de riesgos.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la factibilidad para la implementación de aerogeneradores, los cuales están destinados a satisfacer en forma parcial la demanda eléctrica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-sur (ITUGS) , así poder reducir los gastos por consumo de energía y analizar desde las perspectivas del mercado, ingeniería, impacto ambiental, administrativo legal y financiero económico.

### **Específicos**

1. Determinar el potencial eólico en la zona de implementación, a través de un estudio de la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.
2. Describir el contexto en el que se sitúa el proyecto en estudio, desde la electrificación en Guatemala, hasta la descripción geográfica y socioeconómica del área del proyecto.
3. Plantear los aspectos de mercado del proyecto de laboratorio de energía eólica, la demanda, la oferta y los precios así también analizar los beneficios potenciales del proyecto para la universidad.
4. Estructurar los aspectos técnicos del proyecto, localización, tamaño, diseño del proyecto, operación y mantenimiento, de tal forma de proveer

los insumos para el cálculo de la inversión inicial y cálculo de los costos de operación y mantenimiento. Así también analizar los aspectos de impacto ambiental y determinar la viabilidad ambiental del proyecto.

5. Contemplar los aspectos administrativos y legales que deben considerarse para la operación del proyecto, y obtener los gastos administrativos del proyecto en su etapa de operación.
6. Plantear los aspectos económicos y financieros del proyecto: análisis de costos e instalación de los diferentes tipos de aerogeneradores, de tal forma que se establezcan los insumos que permitan realizar la evaluación económica financiera.
7. Realizar la evaluación económica financiera del proyecto a través del cálculo de los indicadores que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo; la TIR (Tasa Interna de Retorno), el VPN (Valor Presente Neto) y realizar un análisis de sensibilidad. Así también analizar el proyecto desde la perspectiva socioeconómica para el planteamiento de estrategias que contribuyan a la sostenibilidad del mismo.

## INTRODUCCIÓN

El estudio que se llevará a cabo en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-Sur, ITUGS, consistirá en la implementación de un sistema de Generación de Energía eléctrica Tipo Parque Tecnológico a través de la captación de energía eólica el cual servirá como centro de estudio e investigación para los estudiantes de las distintas carreras que se imparten en dicho centro educativo, es de especial énfasis indicar que dicho proyecto servirá para los estudiantes de las carreras de Metal Mecánica, Electrónica y Procesos de Manufactura en sus proyectos de laboratorio.

Con este proyecto se permite instalar torres para monitorear la velocidad y dirección del viento, así como equipamiento que servirá de base para desarrollar una nueva alternativa energética que puede ser usada en tareas de riego, bombeo de agua e iluminación. La instalación de equipos permitirá medir el potencial eólico del lugar. La idea es usar la energía del viento para hacer funcionar una turbina que podría cumplir con tareas de riego, así como de bombeo de agua e iluminación; este sistema sería instalado dentro de las instalaciones del ITUGS.

Constará de 3 sistemas: una torre de medición de variables ambientales, con su equipo de anemómetros y sensores de variables ambientales, un sistema eólico de corriente continua de bombeo y un sistema de registro de datos que permita monitorear la información.



# 1. ASPECTOS GENERALES

## 1.1. Qué es un aerogenerador

Es una máquina, cuya función es la de transformar la mayor parte de energía proveniente del viento en otro tipo de energía útil. En la mayor parte de los casos prácticos, esta energía útil es eléctrica. Al chocar el aire sobre aspas oblicuas del aerogenerador, la energía cinética del viento se convierte en energía mecánica. La energía mecánica a su vez es transformada en energía eléctrica mediante un generador.

De importante relevancia es resaltar que debido a los últimos avances tecnológicos, los aerogeneradores han ido mejorando en su eficiencia y disminuyendo su precio. Una muestra de este mejoramiento es el avance electrónico logrado por la inteligencia artificial en algunos modelos y esto repercute en la mayor capacidad de captación de la energía de viento disponible.

Los aerogeneradores han crecido de manera espectacular, tanto en tamaño como en la potencia producida. Un aerogenerador danés típico de 1980 posee un generador de 26 kilovatios y un diámetro de rotor de 10,5 metros. Mientras que un aerogenerador moderno tiene un diámetro de rotor de 54 metros y un generador de 1 000 kilovatios. Este último producirá entre 2 y 3 millones de kilovatios hora al año; que equivale al consumo anual de electricidad de 300 ó 400 hogares europeos.

Los aerogeneradores presentan ventajas y desventajas, tales como las siguientes:

Algunas de las ventajas de los aerogeneradores son:

- Menor contaminación del medio ambiente en relación a otras fuentes de energía.
- Se trata de instalaciones móviles, cuyo desmantelamiento permite recuperar totalmente la zona para otros usos.
- Rápido tiempo de instalación, implementación e integración del servicio (inferior a 6 meses).
- Su instalación es compatible con otros muchos usos del suelo.

Algunas de las desventajas de los aerogeneradores son:

- Su instalación genera una alta modificación del paisaje.
- Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas, efectos desconocidos sobre modificación de los comportamientos habituales de migración y anidación.
- Impacto sonoro: el roce de las palas con el aire produce un ruido constante (alrededor de 43 dB).

## **1.2. Energía eólica**

La energía eólica o energía del viento es una de las más antiguas que conoce el ser humano, como ejemplo se pueden nombrar los barcos de vela que utilizaban los egipcios. El viento contiene energía cinética que es transformada en otras formas de energía.

Se ha calculado que a escala mundial, los vientos podrían sumar una potencia disponible total de  $2 \cdot 10$  kilovatios (alrededor de 3 veces el consumo actual de energía en el mundo) y es por eso que este recurso no debe pasar desapercibido.

La energía eólica es una consecuencia de la energía solar. El sol crea un calentamiento diferencial de masas de aire, ya sea por diferencias térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión. Durante el día, el sol calienta el aire sobre tierra firme, más que el que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno, provocando que el viento sople desde el mar hacia las costas.

La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica tienen influencia en la dirección del viento. Se puede comparar la tierra a una inmensa máquina térmica en la que el fluido activo, la atmósfera, circula entre las zonas frías y calientes.

El viento se caracteriza principalmente por su dirección y velocidad. Estos aspectos dependen del emplazamiento geográfico del lugar elegido y de su exposición en relación con el relieve del ambiente. El emplazamiento está ligado a la latitud y altitud del lugar, además de la distancia que lo separa del mar; mientras, el relieve juega a su vez un papel dominante. Un terreno torturado por la roca, los bosques y los edificios es poco propicio para el viento regular. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará éste al viento.

El contenido energético del viento depende de su velocidad. Cerca del suelo, la velocidad es baja, pero aumenta rápidamente con la altura. La

corriente de aire sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y en contrapunto más sobre las colinas. Aunque se debe notar que en grandes valles y terrenos montañosos se provoca el efecto túnel que puede proporcionar buenas velocidades de viento; no obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en tierra.

La energía eólica es dispersa e inconstante; pero una vez captada, es limpia, inagotable; y gratuita. En otras palabras, el viento pertenece al tipo de energía llamada renovable. Por lo general, la energía eólica es energía invernal, pues resulta dos veces más abundante en la estación fría que en el verano, lo que la hace complementaria de la energía solar. Por la noche, cuando el sol ha desaparecido o cuando el cielo está nublado, el viento comienza a soplar o sigue soplando. Es decir, el comportamiento eólico varía en sentido contrario al comportamiento solar en el tiempo, los mínimos resultados de uno tienen lugar al mismo tiempo que los máximos del otro. Esta es una opción favorable para sistemas híbridos.

Dos ventajas más que se pueden listar de la energía eólica son:

- Es una fuente de energía segura y renovable.
- No produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, salvo los de la fabricación de los equipos y el aceite de los engranajes.

### **1.3. Historia e industria**

Para llegar a los modernos aerogeneradores que se conocen hoy en día, el hombre ha tenido que realizar vastas mejoras a los antecesores de esta máquina. Uno de los aparatos con más trascendencia histórica es el molino de viento.



### **1.3.1. Historia**

Es importante destacar e interesante además, algunas fechas dentro de la tecnología eólica y de la utilización de aeromotores.

En el siglo V a.C., se encuentran los primeros aeromotores en Asia: son máquinas de eje vertical iguales a las denominadas panemonas de algunas islas griegas. Más o menos por la misma época, en Egipto se utilizaban molinos de eje vertical para moler grano y bombear agua, también en la zona de Sijistán entre Irán y Afganistán.

Todos estos molinos tenían el mismo principio: transformar la energía eólica en energía para el bombeo de agua y la molturación del grano entre otras.

En el siglo VII d.C., se da origen a los primeros modelos rústicos de los clásicos molinos holandeses que hoy en día son mecánicamente sofisticados. O los aeromotores para el bombeo de agua que progresa con la invención de las multipalas en 1870 por los americanos.

Fue en 1802 cuando Lord Kelvin trató de asociar un generador eléctrico a un aeromotor para la producción de energía eléctrica.

En 1920 la energía eólica obtiene cierto éxito, pues había trescientos constructores de estos aparatos.

El estudio en los campos de la aerodinámica permitió alcanzar enormes progresos en los aeromotores, esto hasta 1961; lastimosamente en ese año el

precio del petróleo bajó, poniendo al kilowatt "eólico" a precios inaccesibles. Todas las máquinas fueron desmontadas y vendidas al precio de chatarra.

Desde 1973 ocurre el proceso inverso, impulsando programas de estudio y realización de aerogeneradores. La demanda en países industrializados es mínima. Pero no obstante la demanda en países tercermundistas aumentó de nivel, esto por el obvio bajo costo de producción e instalación de estos aparatos en comparación a las ganancias retribuidas.

En Bolivia, existen aeromotores de bombeo particulares, pero hasta ahora, no se hizo ninguna prospección, para la instalación de los aerogeneradores eléctricos o estos trabajos nos son desconocidos.

#### **1.3.1.1. Molino de viento**

Para llegar a los modernos aerogeneradores que se conocen hoy en día, el hombre ha tenido que realizar vastas mejoras a los antecesores de esta máquina. Uno de los aparatos que ha tenido mayor trascendencia en la historia es el molino de viento.

El término molino de viento es utilizado comúnmente cuando la máquina es conectada a una bomba hidráulica o bien en el caso de los molinos de granos. Los molinos impulsados por el viento son antiguos. Ya en el siglo VII, a.C., eran usados con fines de irrigación y para moler granos en Persia (actualmente Irán). Pero este tipo de molinos no era muy eficiente y no tuvo mayor trascendencia, tanto así que no se expandió al Medio Oriente y Asia.

En el siglo XII, en Francia e Inglaterra, aparecieron otras clases de molinos de viento que se expandieron por toda Europa. En un principio eran de

madera y de eje horizontal, pero en el siglo XIV, en Francia, se desarrolló el molino montado sobre una torre de piedra y aspas de madera de 3 – 9 metros con eje vertical. Entre los siglos XV y XIX los molinos fueron perfeccionados para diferentes usos, por ejemplo: bombeo de agua del mar, extraer aceite de semillas y en general moler diferentes granos. Una de las mejoras al molino más significativas, en la parte del rotor, fue que el diámetro obtuvo la medida de 3 – 5 metros, además consistía de 14 a 20 aspas montadas horizontalmente y una cola que le servía para mantener la dirección del viento.

En 1745 las aspas ya no tenían que ser empujadas para captar el viento, porque un mecanismo lo hacía, ahora podían mantener velocidad constante en vientos de diferentes velocidades.

Alrededor de 1900, Holanda ya tenía más de 9 000 molinos. En el siglo XIX los molinos de viento constituyeron una base importante en la colonización de los Estados Unidos, ya que especialmente en las granjas eran utilizadas para bombear agua. Estos molinos (ya desaparecidos) estaban contruidos de madera (en 1900 la mayoría ya eran de metal). Debido a su eficiencia en la década de los 30`s y 40`s había más de 6 millones en uso (estos aún son fabricados para residencias y granjas). Los molinos de viento granjeros son un ejemplo constante del valor de la energía eólica.

Sin embargo estos no son eficientes para generar electricidad, ya que están diseñados para bombear bajos volúmenes de agua. Con una velocidad de 24 kilómetros por hora, estos pueden bombear 3,8 litros por minuto a una altura de 30 metros de alto.

A principios del siglo XX, cuando la energía eléctrica llegó a ser práctica, las plantas de energía eléctrica estaban lejos, esto hizo que un número de

fabricantes autónomos crearan los cargadores de viento. El rotor se conectó a corriente directa 6-32 voltios. La electricidad que estos producían era almacenada en batería. La mayor diferencia entre los cargadores y los molinos de viento granjeros es que el rotor contaba solamente con 2 ó 3 aletas. Este tipo de rotor de 3 aletas fue producido de 1930 a 1960; podía producir hasta 1 kilovatios y tenía una velocidad de 23 kilómetros por hora.

### **1.3.1.2. Pioneros de los aerogeneradores**

El pionero olvidado de la turbina eólica, Charles F. Brush (1849-1929), es uno de los fundadores de la industria eléctrica americana. Inventó un dínamo muy eficiente de corriente continua, utilizado en la red eléctrica pública, también la primera luz de arco eléctrico comercial, así como un eficiente método para la fabricación de baterías de plomo-ácido. Su compañía, la *Brush Electric*, en Cleveland (Ohio), fue vendida en 1889 en 1892 se fusionó con la *Edison General Electric Company*, bajo el nombre de *General Electric Company (GE)*. Durante el invierno de 1887-88 Brush construyó la que hoy se cree es la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad. Era un gigante, con un diámetro de rotor de 17 metros y 144 palas fabricadas en madera de cedro. La turbina funcionó durante 20 años y cargó las baterías en el sótano de su mansión. A pesar del tamaño de la turbina, el generador era solamente un modelo de 12 kilovatios. Esto se debe al hecho de que las turbinas eólicas de giro lento de tipo americano de rosa de vientos no tienen una eficiencia media particularmente alta.

El 20 de diciembre de 1890 la revista *Scientific American* publicó una muy detallada descripción de la turbina eólica de Brush. Allí se describe la mayoría de las características detalladamente. Esta máquina es particularmente célebre por su sistema de control eléctrico totalmente automatizado.

Poul La Cour Museet (1846 – 1908) tuvo originalmente una formación como meteorólogo. Poul la Cour fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos. La Cour se preocupaba del almacenamiento de energía y utilizaba la electricidad de sus turbinas eólicas para producir electrólisis y obtener así hidrógeno para las lámparas de gas de su escuela. El principal inconveniente que esto suponía es que tuvo que sustituir las ventanas por varios de los edificios de la escuela en diversas ocasiones, pues el hidrógeno explosionaba debido a las pequeñas cantidades de oxígeno que había en él. La Cour impartía cada año diversos cursos para electricistas eólicos en el instituto Folk de Askov.

Johannes Juul y las turbinas Vester Egeborg; el ingeniero Johannes Juul fue uno de los primeros alumnos de Poul La Cour en sus cursos para electricistas eólicos en 1904. En los años 50, llegó a ser un pionero en el desarrollo de los primeros aerogeneradores en el mundo de corriente alterna. El innovador aerogenerador de Gedser de 200 kilovatios fue construido en 1956-57 por él, para la compañía eléctrica SEAS en la costa de Gedser (parte sur de Dinamarca).

La turbina tripala, con orientación electromecánica y un generador asíncrono fue un diseño único, y aunque su rotor con cables de acero parezca actualmente algo pasado de moda, la turbina disponía de regulación por pérdida aerodinámica. J. Juul inventó además los frenos aerodinámicos de emergencia en punta de pala, que se sueltan por la fuerza centrífuga en caso de sobre velocidad. Básicamente, el mismo sistema es hoy en día utilizado en las modernas turbinas de regulación por pérdida aerodinámica. La turbina que durante muchos años fue la más grande del mundo, fue increíblemente duradera. Funcionó durante 11 años sin mantenimiento.

El aerogenerador del Gedser fue reacondicionado en 1975 a petición de la NASA, que quería resultados de medición de la turbina para un nuevo programa estadounidense de energía eólica. A pesar de esto, la máquina funcionó durante pocos años para las mediciones de prueba antes de ser desmantelada. La góndola y el rotor de la turbina se exponen actualmente en el Museo de Electricidad de Bjerringbro (Dinamarca).

### **1.3.2. Industria**

La energía eólica aprovecha una fuente de energía infinita, inagotable y totalmente gratis como es el viento. Una de las mayores preocupaciones de los países industrializados es el miedo al agotamiento de las fuentes tradicionales: carbón, petróleo y gas natural. El ritmo de consumo de estas materias primas es tal, que en un año la humanidad consume lo que la naturaleza ha tardado un millón de años en producir. Por tanto no es descabellado pensar que las reservas se agotarán en años futuros. La energía eólica aliviará esta preocupación.

Otro factor importante es el carácter no contaminante de esta fuente de energía; se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión; lo que incide beneficiosamente en la atmósfera, el suelo, el agua, etc. además las plantas eólicas evitan el efecto invernadero y la lluvia ácida.

#### **1.3.2.1. Inicio de la industria 1970-1980**

En 1970 los gobiernos de Europa y Estados Unidos financiaban el desarrollo de programas que fueron instituidos en estos países para crear la industria de la energía eólica. En los Estados Unidos el crecimiento de la

producción ha sido relevante. Principalmente en Hawái y en California, en menos de una década, la energía eólica representó una fuente rentable, tal es el caso de California, que ahora el 3 por ciento de la generación de electricidad proviene de las granjas eólicas.

#### **1.3.2.2. La industria eólica 1990-2000**

Se estima que la producción mundial de energía de turbinas eólicas durante este período era de 4 000 millones de kilovatios hora de más de 20 000 turbinas con una capacidad instalada de 3 000 mega *watts*. Esta es suficiente para 700 000 residencias que usan 8 000 kilovatios hora al año. Las grandes concentraciones de turbinas se encontraban en California, Japón, Alemania y Dinamarca.

#### **1.3.2.3. Las cifras de la energía eólica 2001**

Desde que los Estados Unidos iniciaron la era moderna de la industria eólica, a principios de los años ochenta en California, el camino recorrido por el sector es excepcional. En 2001, los tres países a la cabeza del *Rankin* mundial, Alemania, Estados Unidos y España, habían instalado 558 megavatios ubicados en todo el mundo permitieron a principios de 2002, alimentar las necesidades de electricidad de cerca de 15 millones de hogares. En 2001, la capacidad mundial de producción de electricidad eólica creció en 38,8 por ciento. Los primeros datos disponibles establecen una cifra de más de 6,870 megavatios adicionales instalados en 2001.

#### **1.3.2.4. Industria de la energía eólica en algunos países**

La producción total de energía eólica generada en todo el mundo aumentó un 22 por ciento en el 2010, alcanzando los 194 390 megavatios. La totalidad de aerogeneradores instalados hasta finales de 2010 en todo el mundo produjeron 425 teravatios hora al año, lo que equivale al 2,5 por ciento de la demanda mundial de electricidad.

Como consecuencia del estancamiento de las inversiones desencadenado por la crisis mundial, el mercado internacional para nuevos aerogeneradores experimentó en 2010 un notable descenso y se situó, con un total de 35 802 megavatios, aproximadamente un 7 por ciento menos de la capacidad adicional obtenida en 2009 (38 610 megavatios).

En muchos países, la capacidad adicional instalada en el 2010 fue menor que el total de nuevas instalaciones construidas en el 2009. Lo más significativo fue el retroceso experimentado en EE.UU. (-48 por ciento), España (-37 por ciento) y Alemania (-19 por ciento), que, con una potencia instalada de 27 214 megavatios, ocupa el tercer puesto a nivel mundial.

Dinamarca: tiene una docena de sociedades dedicadas a la fabricación de molinos de viento. Es el primer país exportador de aerogeneradores, más de la mitad de los instalados en el mundo, alrededor de 20 000 y el 75 por ciento de los europeos. Su propósito consiste en que en el 2030, el 50 por ciento de los recursos energéticos sean de origen renovable. En Dinamarca, la energía eólica es la octava actividad industrial del país y sus ganancias superan a las de la pesca junto al gas natural. Actualmente, con 2 515 megavatios instalados, consigue abastecer más del 12 por ciento del suministro eléctrico del país. Este país ha tomado la decisión de ir desmantelando gradualmente sus centros de



producción nucleares, por lo que deben encontrar otros medios de generación que provean una cantidad equivalente de electricidad.

Su mayor planta se encuentra en Utgrunden, de 10 megavatios de potencia. Actualmente se generan 226 megavatios con recursos eólicos. El estado sueco proporciona una subvención del 15 por ciento para plantas eólicas, al aportar también una ayuda por cada kilovatio hora producido mediante el uso de fuentes como la energía eólica.

Alemania: su programa de producción de electricidad, llamado *Growian*, comprende aerogeneradores de 3 y de 5 megavatios. Hay un total de 30 proyectos subvencionados con un total de 30 millones de marcos. Los molinos se pueden encontrar cerca de las ciudades, y en las autopistas, como por ejemplo las que unen Berlín con Hamburgo y Berlín con Rodstock, que están llenas de molinos. Se ha llegado al punto de poner publicidad en los molinos.

Destaca el estado de Schleswing-Holstein, donde se obtiene 15 por ciento del suministro a través de aerogeneradores. Esta fuente de energía, que apenas cuenta con siete años de funcionamiento, ya ha alcanzado a producir más del doble que la mayor planta de combustión del país, más de 6 113 kilovatio. Esta energía es proporcionada por 9375 aerogeneradores, capaces de producir 11,5 billones de kilovatios a la hora, que supone el 2,5 por ciento del consumo doméstico. Actualmente es la primera potencia mundial en recursos eólicos.

Reino Unido: se ha marcado el propósito de generar el 10 por ciento de su consumo a través de recursos renovables para el 2010. Con los más de 130 kilovatios aportados en el 2001 han alcanzado la cifra de 530 megavatios mediante recursos eólicos.

Portugal: PO-MISTRAL es un proyecto portugués de mayor envergadura, que se ha puesto en marcha para desarrollar y validar modelos de parques eólicos. Con ellos se espera suministrar mediante la producción de parques, ya construidos y por construir, en las redes del país.

Holanda: pese a que la meta se había marcado en los 100 megavatios de producción instalada para el 2000, menos de 40 megavatios fueron implantados, al alcanzar los 449 megavatios.

Estados Unidos: tuvo en el 2000 un descenso del aumento de producción, aunque se obtuvo un gran crecimiento para el 2001, hasta 2000 megavatios. Los proyectos más ambiciosos se centran en Minnesota, Wyoming y Oregon.

Italia: este país ha dado un gran paso al haber culminado satisfactoriamente un proyecto entre la corporación italiana IVPC y la compañía japonesa Tomen, consistente en la construcción de una planta generadora de 170 megavatios en Compañía y Puglia. Esta iniciativa, que ha costado 260 millones de dólares y cuenta con 282 turbinas de 600 kilovatios. Ahora mismo es una de las mayores plantas del mundo. En total, en el 2001 se instalaron 355 megavatios, y alcanzaron la cifra de 775 megavatios.

Turquía: actualmente se encuentra iniciándose en el mercado eólico. Cuando acabe este primer proceso se espera instalar unos 350 megavatios. Se llegó a acuerdos con Canon para la implantación de unos 185 megavatios.

Marruecos: Su primer plan de implantación tuvo lugar en Koudia al-Badia, una planta de 50 megavatios. Esta generará unos 200 millones kilovatios

hora anualmente y supondrá 2 por ciento del consumo eléctrico, además existen otros dos proyectos para alcanzar los 200 megavatios.

Irlanda: durante el 2000 se instalaran 43 megavatios y mediante la aplicación de más de 20 proyectos, se implantarían unos 100 megavatios en el 2001, (además de los 118 megavatios que se tenían en el 2000). Alrededor del 3 por ciento de sus necesidades eléctricas son generados eólicamente. Existen planes futuros para sumar otros 200 megavatios.

Canadá: este país incrementó en el transcurso del 2000 de 10 megavatios a 137 megavatios, según la CanWEA, con sus mayores plantas en Quebec y Alberta. De todas maneras queda todavía largo camino; pues ni 1 por ciento de la energía es de origen eólico.

China: aprovecha de manera escasa este recurso, a pesar de que por sus características geográficas podría ser líder mundial en el sector. Existe un acuerdo internacional para la inversión de 12 millones de dólares para la explotación de estos recursos. Pertenece a un proyecto sobre la inversión en China de 98 millones de dólares como apuesta a favor de las energías alternativas, que supondría la producción del 72 por ciento de origen renovable. Ahora mismo, con 265 megavatios, se produce 1 por ciento del consumo mediante recursos eólicos. Se planea que para el 2003 se alcance 2 por ciento. Los tres mayores parques se encuentran en Dabancheng, Fujin y Xiwaizi.

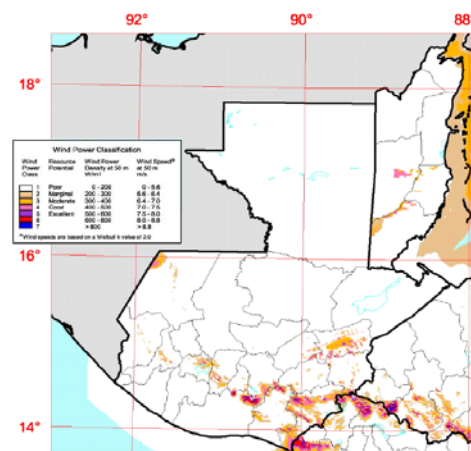
Japón: mediante la promoción de la compañía eléctrica de Tokio se han invertido 64 billones de dólares en un parque de 32 megavatios. Aparte durante el 2000, se implantaron 24 turbinas, repartidas en dos parques, generadores de 25 y 15 megavatios.

Otros: además de los países mencionados anteriormente, España y Austria se destacan de sobremanera en el recurso eólico. En Centroamérica el país que más sobresale es Costa Rica, al tener uno de sus principales parques eólicos en Tilarán y más recientemente el proyecto de Cerro de Hula en Honduras.

### 1.3.2.5. La energía eólica en Guatemala

El Ministerio de Energía y Minas cuenta con un proyecto de Mapeo eólico y solar; con la ayuda técnica y financiera del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a través del Proyecto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) cuentan con un mapeo del potencial eólico y solar de la República de Guatemala: velocidad de viento a 50 metros, para los países de Centroamérica y Cuba; Radiación Solar Directa Normal, anual en kilovatios hora por metro cuadrado sobre el día; promedio de radiación global en watt sobre metro cuadrado para Centroamérica y Cuba.

Figura 1. Mapa de potencial eólico en Guatemala



Fuente: informe de la energía en Guatemala, Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Figura 2. Campos explorados



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

Guatemala cuenta con considerable cantidad de recursos energéticos y por consiguiente un potencial para aprovecharlos, como se muestra en la Tabla No.1, en donde se observa a la energía eólica con uno de los mayores potenciales pero no siendo utilizado. Por lo que a la fecha no han sido aprovechados intensamente.

Tabla I. Recursos energéticos en Guatemala

Recurso	Potencial MW	Utilizado MW	Porcentaje Utilizado
Hidroeléctrico	5000	650,3	13
Geotérmico	1000	29,0	3
Eólico	7800	0,1	0
Biomásico	n/c	185,2	n/c

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Según investigaciones realizadas, Guatemala cuenta con un potencial teórico de 7 800 megavatios de energía eólica. Este potencial representa 1,5 veces la capacidad bruta estimada de las hidroeléctricas que podrían ser construidas en el país, y cinco veces lo que consume la nación en su totalidad (1500 megavatios, un megavatio puede suministrar electricidad a una comunidad de 20 mil personas). Este mismo estudio señala que Centroamérica está bajo la influencia de los vientos alisios, un sistema de velocidad y dirección relativamente constante, que sopla en ambos hemisferios.

De acuerdo con la medición durante un año, hecha por el MEM, Santa Rosa, Sacatepéquez, Escuintla, Zacapa y Jutiapa son los departamentos más atractivos para construir campos eólicos, pues registran vientos de hasta 12 metros por segundo.

En mayo del 2012 una empresa privada anuncio que realizaría el primer proyecto en Guatemala de generación de energía eléctrica de este tipo, aprovechando la energía eólica de San Antonio el Sitio, en Santa Elena Barillas, Villa Canales, la compañía planea producir 48 megavatios los cuales se venderán a los distribuidores de energía, la inversión a realizarse será de US\$115 millones y comenzará a construirse en enero del 2013 concluyéndolo en diciembre de ese mismo año.

#### **1.4. Tipos de aerogeneradores**

Para aportar energía a la red eléctrica existen diferentes tipos de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, para ellos existen diferentes clasificaciones.

### **1.4.1. Clasificación según la posición del eje**

Se clasifican en general, los aerogeneradores, según la posición de su eje de rotación, con relación a la dirección del viento, siendo este elemento el inicial a tomar en cuenta en los procesos de implementación de parques eólicos. Así se dividen en:

#### **1.4.1.1. Aerogeneradores de eje horizontal**

La mayor parte de la tecnología actual se refiere a aerogeneradores de eje horizontal (o HAWTs, que corresponde a las siglas de la denominación inglesa *horizontal axis wind turbines*). La razón por la cual todos los aerogeneradores comerciales conectados a la red se construyen actualmente con un rotor tipo hélice de eje horizontal (es decir, de eje principal horizontal), es que la potencia generada por estos es mayor que la generada por los de eje vertical. El movimiento de rotación se origina por la incidencia del viento sobre unas palas orientadas con un cierto ángulo respecto del aerogenerador.

La fuerza del viento se descompone en dos vectores, uno axial que tiende a empujar al aerogenerador y otro tangencial que es el que hace girar el aerogenerador. Por supuesto, la finalidad del rotor es la de convertir el movimiento lineal del viento en energía rotacional que pueda ser utilizada para que funcione el generador. El mismo principio básico es el que se emplea en las modernas turbinas hidráulicas, en las que corriente de agua es paralela al eje de rotación de los álabes de la turbina.

#### **1.4.1.2. Aerogeneradores de eje vertical**

Los aerogeneradores de eje vertical (o VAWTs, como algunos les llaman) son apenas capaces de mejorar la eficiencia de una turbina mediana de tipo hélice. La única turbina de eje vertical que ha sido comercialmente fabricada a todos los volúmenes es la máquina Darrieus. Esta debe su nombre al ingeniero francés Georges Darrieus, quien patentó el diseño en 1931. El diferente diseño de Darrieus tenía dos aspas de aluminio, las cuales estaban ensambladas por un tubo metálico por la parte inferior y superior de las aspas. Esto le daba un aspecto de batidora (de ahí otro de sus nombres).

Esta máquina producía su potencia máxima con una velocidad de viento de 45 kilómetros por hora). Varios modelos de este tipo fueron construidos en los 80's. Además fue producida por la compañía estadounidense *FloWind*, que quebró en 1997.

#### **1.4.2. Clasificación según el número de palas**

Los aerogeneradores pueden tener una, dos o más palas con diferentes características y rendimientos. Los aerogeneradores actuales para producción de energía eléctrica a gran escala más utilizados en el mundo, tienen un número impar de palas.

##### **1.4.2.1. Monopala**

Los aerogeneradores monopala sí existen, y de hecho, ahorran el coste de otras palas idealmente, se obtendría mayor rendimiento cuanto menor fuera el número de palas. Esto, debido a que la estela que deja una pala es recogida por la pala siguiente, lo que hace que ésta se frene. Aunque idealmente el



aerogenerador es única pala sería el de mayor rendimiento, este tiene un pobre par de arranque.

Los aerogeneradores monopala no están muy extendidos comercialmente, pues los inconvenientes de los bipala también son aplicables, e incluso en mayor medida, a las máquinas monopala. Además de una mayor velocidad de giro, y de los problemas de ruido, necesitan un contrapeso en el lado del buje opuesto a la pala que equilibre el rotor. Obviamente, esto anula el ahorro de peso comparado con un diseño bipala.

#### **1.4.2.2. Bipala**

Los ingenieros de modernos aerogeneradores evitan construir grandes máquinas con dos palas. La razón más importante es la estabilidad de la turbina. Un rotor con un número par de palas puede dar problemas de estabilidad en una máquina que tenga una estructura rígida. La razón es que en el preciso instante en que la pala más alta se flexiona hacia atrás, debido a que obtiene la máxima potencia del viento, la pala más baja pasa por la sombra del viento de enfrente de la torre. A pesar de lo anterior, los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala además de tener menor peso.

Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja, tanto en lo que respecta al ruido como en el aspecto visual. Últimamente, varios fabricantes tradicionales de máquinas bipala han cambiado a diseños tripala. Las máquinas bi y monopala requieren de un diseño más complejo, el rotor tiene que ser capaz de inclinarse, con el fin de evitar fuertes sacudidas en la turbina cada vez que una de las palas pasa por la torre.

Así el rotor está montado en el extremo de un eje perpendicular al eje principal, y que gira junto con el eje principal. Esta disposición puede necesitar de amortiguadores adicionales que eviten que las palas del rotor choquen contra la torre.

### **1.4.2.3. El concepto tripala danés**

La mayoría de aerogeneradores modernos tiene diseños tripala, con el rotor a barlovento, al usar motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. A este diseño se le suele llamar el clásico “concepto danés”, y tiende a imponerse como estándar gracias a la buena estabilidad y eficiencia de su estructura. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este tipo de forma. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser. Además de los aerogeneradores tripala, existen también 4 aspas y multipalas (mayores a 4 palas), que no son tan comerciales.

Hay muchas más de las 2 anteriores clasificaciones, por ejemplo, los aerogeneradores se pueden dividir en marinos o terrestres. También se puede dividir según su potencia, grande o pequeña (los de pequeña potencia están comprendidos entre los 180 y 3000 vatios y producen corriente continua de 12-24 ó 120-240 voltios. Este tipo de aerogeneradores es idóneo para abastecer de energía eléctrica a viviendas aisladas de la red, con bajos consumos), pero estas clasificaciones no son el objetivo del trabajo.

## **1.5. Descripción y funcionamiento del aerogenerador**

El funcionamiento de un aerogenerador es muy sencillo. El viento mueve las palas del aerogenerador y a través de un sistema mecánico de engranajes

hacen girar el rotor. La energía mecánica rotacional del rotor es transformada en energía eléctrica por el generador.

### **1.5.1. Partes individuales**

Las partes de un aerogenerador que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica se encuentran en la parte interna de la góndola, que sirve para proteger esos componentes claves.

#### **1.5.1.1. El rotor**

El rotor, que incluye el buje y las aspas o alabes, es la parte principal de una máquina eólica, la función del rotor es la de transformar la energía cinética del viento en mecánica utilizable, para que el generador pueda funcionar. Generalmente las aspas están hechas de un material compuesto de fibras y resinas. En la mayoría de los casos se utiliza la fibra de vidrio con poliéster, pero algunos fabricantes ofrecen también aspas de madera, o fibra de carbono, sin embargo este último material es muy caro por tener mayor resistencia y ser muy liviano.

Las aspas se encuentran aerodinámicamente construidas y ensambladas con cierto ángulo de inclinación, para que puedan captar el viento de la manera más eficiente.

Una vez en movimiento, el rotor mueve el eje principal que a su vez está conectado al tren de conversión mecánica. Se dice que en las aspas radica la potencia del aerogenerador porque de ellas se sabe la cantidad de energía que es capaz de producir. La energía se define como la capacidad de trabajo y se relaciona con la potencia, de la siguiente manera:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}}$$

Sabiendo dos cantidades de la fórmula anterior, la ecuación puede calcularse. Por ejemplo, si un generador está valorado a 50 kilovatios y opera durante 2 horas, produce 100 kilovatios-hora, un kilovatio (KW =1000 vatios) es una unidad de medida de la potencia y un kilovatio-hora es una unidad de medida de la energía. Además cualquier masa en movimiento posee energía cinética. El viento es simplemente aire en movimiento. La energía cinética (KE) está dada por:

$$\text{KE} = \frac{1}{2} \text{Masa} * V^2$$

Por el aire, la velocidad (V) sería la velocidad del viento, ahora bien, si se relaciona la masa con la densidad y el volumen, la ecuación de la energía cinética por unidad de volumen de una columna de aire en movimiento es:

$$\frac{\text{KE}}{\text{Volumen}} = \frac{1}{2} \rho * V^2$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire y V es su velocidad. La tasa de flujo de aire a través de una columna de área de sección transversal (A) es A\*V esto puede considerarse como el volumen de aire que cruza un área de superficie determinada cada segundo. En la máquina que trabaja, A es el área de sección transversal del sistema que capta el viento, como un conjunto de aspas del rotor. Al multiplicar la energía por unidad de volumen por la tasa de flujo, se obtiene la tasa a la cual se transfiere la energía, o en otras palabras la potencia:

$$\text{Potencia} = \text{EC} * \text{Volumen} = \left( \frac{1}{2} \rho * V^2 \right) * (A * V) = \frac{1}{2} \rho V^3 * A$$

Con el fin de comparar la potencia del viento a diferentes velocidades y en diferentes lugares, es conveniente hablar de potencia por unidad de área (P/A). Por lo tanto, la potencia disponible por unidad de área es:

$$\frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} = \frac{1}{2} \rho V^3$$

El factor más importante es que la potencia del viento es proporcional al cubo de su velocidad. Cuando la velocidad se dobla, la potencia se aumenta por ocho ( $2^3 = 8$ ). Variaciones en el viento pueden dar relativamente grandes diferencias en la potencia. Además la fracción de energía capturada por un aerogenerador viene dada por factor  $C_p$ . Llamado coeficiente de potencia. Este coeficiente de potencia tiene un valor máximo teórico de 59,3 por ciento ( $16/27$ ) denominado límite de Betz. Los primeros aerogeneradores tenían rendimientos del 10 por ciento, pero los más modernos utilizan sistemas de control de manera que operan siempre con la máxima eficiencia aerodinámica ya que alcanzan valores de rendimiento próximos al 50 por ciento.

#### **1.5.1.2. El tren de conversión mecánica**

El tren de potencia o conversión mecánica está construido por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad alta y los cojinetes que soportan los ejes. La función principal del tren es la de adaptar la velocidad del eje a la del generador. En otras palabras, el tren de conversión mecánica es el que transfiere la potencia desde el eje principal hasta el generador. El eje principal rotará de acuerdo con el rotor (éste también estará soportado por cojinetes) y seguidamente entrará a la caja multiplicadora de velocidades.

En la caja de cambio de velocidad, un sistema de engranajes aumentará la velocidad del eje principal al eje de velocidad alta. Se utilizarán cajas paralelas al eje principal en los sistemas de hasta 500 kilovatios, debido a que son más livianas y menos costosas. El eje de alta velocidad transferirá más velocidad y menos fuerza al generador para lograr así una mejor frecuencia. Usualmente los ejes tienen un sistema de frenos para evitar que el generador actúe como motor y delimitar la velocidad máxima a la cual es conveniente la conversión mecánica-eléctrica.

### **1.5.1.3. El generador**

El generador eléctrico es una máquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica aunque el término (del latín generaré) tiene un sentido más amplio en ingeniería, aquí se referirá únicamente al generador eléctrico. A principios del siglo XIX, el químico-físico británico Michael Faraday descubrió el principio del motor eléctrico. En la década de 1880 ya funcionaban los generadores y motores (mejorados) en la industria. En principio una máquina rotatoria de conversión de energía electromecánica, puede ser utilizada como generador o como motor, pero consideraciones de diseño práctico pueden favorecer su uso específico.

Normalmente los generadores constan de un elemento móvil, el inducido o rotor, constituido por varias bobinas. Este se hace girar dentro de un campo magnético, que se crea mediante el estator. El estator puede consistir en un imán permanente, aunque casi siempre se utiliza un electroimán (dinamo), en este último caso, el electroimán se excita por una corriente independiente o por autoexcitación, es decir, la propia corriente producida en el dinamo sirve para crear el campo magnético en las bobinas del inductor. Existen tres tipos de

dinamo según sea la forma en que estén acoplados el inductor y el inducido en serie, en derivación y en combinación.

La corriente generada por el inducido se recoge mediante unos anillos rozantes o un colector. Los anillos se emplean en los generadores de corriente alterna y el colector se emplea en los de corriente continua. Por medio de las escobillas, generalmente de carbón, que permanecen constantemente en contacto con los anillos rozantes (o el colector), la energía producida es transportada hasta el sistema principal. Los generadores de los automóviles y dinamos de las bicicletas funcionan de esta misma manera. Tanto en el generador como en el motor eléctrico, las pérdidas son relativamente pequeñas. Estas máquinas proporcionan generalmente un 90 por ciento de rendimiento el 10 por ciento restante se pierde en fricción, calor, etc.

#### **1.5.1.3.1. Generadores de corriente continua**

Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución y en el otro sentido durante la otra mitad. Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente continua, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador. Esta inversión se lleva a cabo mediante un conmutador. Un conmutador es un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura. Las dos mitades del anillo se aíslan entre sí y sirven como bornes de la bobina.

Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantienen en contacto con el conmutador, que al girar conecta eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura gira, cada escobilla está en contacto de forma

alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en que la corriente invierte su sentido dentro de la bobina de la armadura. Así se produce un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador está conectado.

Los generadores modernos de corriente continua utilizan armaduras de tambor, que suelen estar formadas por un gran número de bobinas agrupadas en hendiduras longitudinales dentro del núcleo de la armadura y conectadas a los segmentos adecuados de un conmutador múltiple. Si una armadura tiene un solo circuito de cable, la corriente que se produce aumentará y disminuirá dependiendo de la parte del campo magnético a través del cual se esté moviendo el circuito. Un conmutador de varios segmentos usado con una armadura de tambor conecta siempre el circuito externo a uno de cable que se mueve a través de un área de alta intensidad del campo y como resultado la corriente que suministran las bobinas de la armadura es prácticamente constante.

Los campos de los generadores modernos se equipan con cuatro o más polos electromagnéticos que aumentan el tamaño y la resistencia del campo magnético. En algunos casos, se añaden interpolos más pequeños para compensar las distorsiones que causa el efecto magnético de la armadura en el flujo del campo.

#### **1.5.1.3.2. Generadores de corriente alterna**

Un generador simple sin conmutador producirá una corriente eléctrica que cambia de sentido a medida que gira la armadura. Este tipo de corriente alterna es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica, por lo que la mayoría de



los generadores eléctricos son de este tipo. En su forma más simple, un generador de corriente alterna se diferencia de uno de corriente continua en sólo dos aspectos: los extremos de la bobina de su armadura están sacados a los anillos colectores sólidos sin segmentos del árbol del generador en lugar de los conmutadores y las bobinas de campo se excitan mediante una fuente externa de corriente continua más que con el generador en sí.

Los generadores de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con más facilidad la frecuencia deseada. Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo máquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna es igual a la mitad del producto del número de polos por el número de revoluciones por segundo de la armadura.

La corriente que se genera mediante los alternadores aumenta hasta un pico, cae hasta cero, desciende hasta un pico negativo y sube otra vez a cero varias veces por segundo, dependiendo de la frecuencia para la que esté diseñada la máquina. Este tipo de corriente se conoce como corriente alterna monofásica. Sin embargo, si la armadura la componen dos bobinas, montadas 90 grados una de otra, y con conexiones externas separadas, se producirán dos ondas de corriente, una de las cuales estará en su máximo cuando la otra sea cero. Este tipo de ángulos de 120 grados, se producirá corriente en forma de onda triple, conocida como corriente alterna trifásica.

Se puede obtener un número mayor de fases al incrementar el número de bobinas en la armadura, pero en la práctica de la ingeniería eléctrica moderna se usa sobre todo la corriente alterna trifásica, con el alternador trifásico, que es la máquina que se emplea normalmente para generar potencia eléctrica.

#### **1.5.1.4. El transformador**

Es un dispositivo eléctrico que consta de una bobina de cable situada junto a una o varias bobinas más, y que se utiliza para unir dos o más circuitos de corriente alterna (CA), aprovechando el efecto de inducción entre las bobinas. Son aparatos que sirven para modificar el voltaje o tensión de una corriente. En esencia, están constituidos por dos o más bobinas paralelas e independientes, con un núcleo de hierro común en forma de cuadrado. Una de las bobinas, que es la que está en contacto con la corriente a modificar, se denomina primaria. Las otras; son llamadas secundarias.

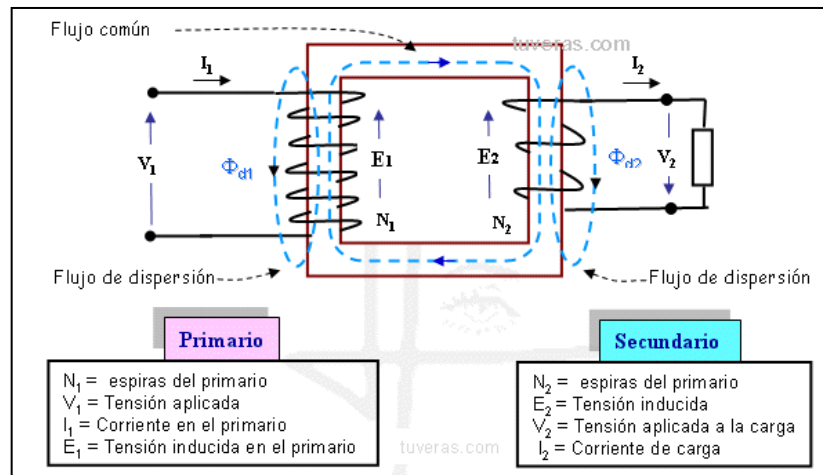
Cada bobina secundaria está recorrida por una corriente inducida que se forma por las variaciones de flujo magnético que se originan en su interior como consecuencia de ser alterna la corriente del primario.

Un transformador cuyo voltaje secundario sea superior al primario se llama transformador elevador, si el voltaje secundario es inferior al primario este dispositivo recibe el nombre de transformador reductor. El producto de intensidad de corriente por voltaje es constante en cada juego de bobinas, de forma que en un transformador elevador el aumento de voltaje de la bobina secundaria viene acompañado por la correspondiente disminución de corriente. Como primera discusión se analizarán las relaciones básicas de lo que es el transformador ideal y así después poder comprender mejor los transformadores de potencia que usan los aerogeneradores.

### 1.5.1.4.1. Transformador ideal

El circuito equivalente al transformador ideal se muestra a continuación. Este será usado para establecer las relaciones primordiales de los transformadores.

Figura 3. Transformador ideal



Fuente: www.tuveras.com. Consulta: 11 de febrero del 2012.

### 1.5.1.4.2. Transformador de potencia

Son grandes dispositivos usados en los sistemas de generación y transporte de electricidad y en pequeñas unidades electrónicas. Los transformadores de potencia industriales, que operan a la frecuencia de la red eléctrica, pueden ser monofásicos o trifásicos y están diseñados para trabajar con voltajes y corrientes elevados. Para que el transporte de energía resulte rentable es necesario que en la planta productora de electricidad un transformador eleve los voltajes, reduciendo con ello la intensidad. Las pérdidas

ocasionadas por la línea de alta tensión son proporcionales al cuadrado de la intensidad de corriente por la resistencia del conductor.

Por tanto, para la transmisión de energía eléctrica a larga distancia se utilizan voltajes elevados con intensidades de corriente de energía eléctrica a larga distancia se utilizan voltajes elevados con intensidades de corrientes reducidas. En el extremo receptor los transformadores reductores disminuyen el voltaje, al aumentar la intensidad, y adaptar la corriente a los niveles requeridos por las industrias y las viviendas, normalmente alrededor de los 240 voltios.

#### **1.5.1.5. La torre**

Los aerogeneradores deben colocarse en lugares adecuados. El lugar elegido para la instalación del aerogenerador debe estar despejado y no tener obstáculos de altura igual a la torre en unos 300 metros a la redonda. Los obstáculos afectan al viento, según la teoría de la capa límite, tanto si se encuentran delante como detrás del molino. Además los aerogeneradores deben estar soportados sobre una estructura capaz de aguantar el empuje del viento y turbulencias.

##### **1.5.1.5.1. Torres de celosía**

Las torres de celosía son fabricadas al usar perfiles de acero soldados. La ventaja básica de las torres de celosía es su coste, puesto que una torre de celosía requiere sólo la mitad de material que una torre tubular sin sustentación adicional con la misma rigidez. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual (aunque esa cuestión es claramente debatible). En cualquier caso, por razones estéticas, las torres de celosía han desaparecido prácticamente en los grandes aerogeneradores modernos.

Relativamente baratas y fáciles de armas, la celosía hace poca resistencia al viento por lo que resulta conveniente para las mediciones, dependiendo de la topografía y ubicación geográfica se escogen los instrumentos a utilizar.

La orientación se hace de frente a la dirección predominante de viento, las alturas de medición sirven para conocer el gradiente de velocidad, el anemómetro base se instala a la altura que está el generador de la máquina propuesta.

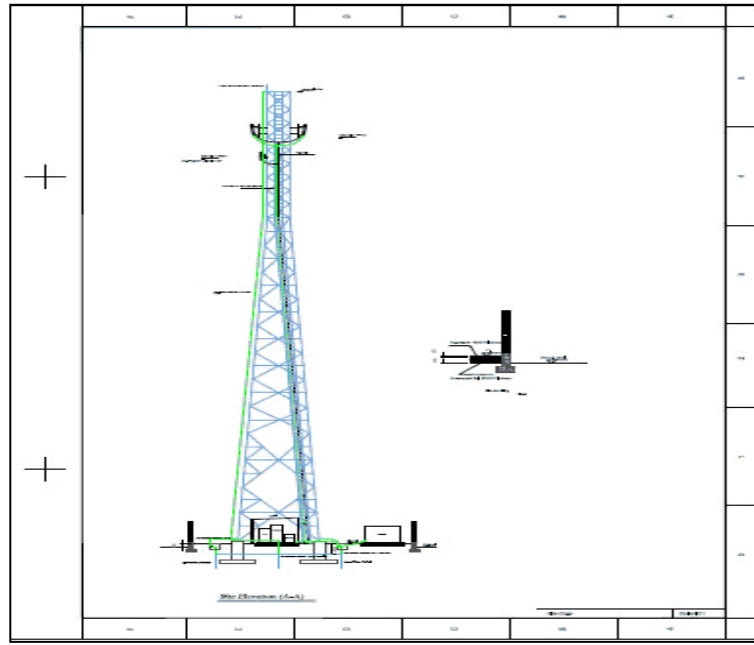
#### **1.5.1.5.2. Torres de mástil tensado con vientos**

Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores. La ventaja es el ahorro de peso y por lo tanto, de coste. Las desventajas son el difícil acceso a las zonas alrededor de la torre, lo que las hace menos apropiadas para zonas agrícolas. Finalmente este tipo de torres son más propensas a sufrir actos vandálicos, lo que compromete la seguridad del conjunto.

#### **Soluciones de torres híbridas**

Algunas torres están hechas con diferentes combinaciones de las ya mencionadas. Un ejemplo son las torres de tres patas; de la que podría decirse que es un híbrido entre una torre de celosía y una torre tensada con vientos.

Figura 4. **Torres híbridas**



Fuente: Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE).

### **1.5.1.6. Otras generalidades del aerogenerador**

Los aspectos que diferencian la calidad, eficiencia y costos de los distintos aerogeneradores están basados en características particulares en función del valor agregado que representan en el proceso de generación de energía eléctrica.

#### **1.5.1.6.1. El controlador electrónico**

Este tiene un ordenador que continuamente supervisa 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), automáticamente se detiene el aerogenerador y el ordenador llama al operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante módem.

#### **1.5.1.6.2. El mecanismo de orientación**

Es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. Se dice que la turbina eólica tiene un error de orientación si el rotor no está perpendicular al viento. Un error de orientación implica que una menor proporción de la energía del viento pasará a través del área del rotor (está proporción disminuirá con el coseno del error de orientación) y esto repercutirá en menor aprovechamiento del recurso. El mecanismo de orientación es activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento al utilizar la veleta. Normalmente, la turbina sólo se orientará unos pocos grados cada vez, cuando el viento cambia de dirección.

#### **1.5.1.6.3. El anemómetro y la veleta**

Se usan para medir la velocidad y la dirección del viento. Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectar el aerogenerador cuando el viento alcanza aproximadamente 5 metros por segundo. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 metros por segundo, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son empleadas por el controlador electrónico del aerogenerador para girar al aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

#### **1.5.1.6.4. El sistema de frenos**

En cuanto al aprovechamiento de la energía del viento por una turbina, se debe saber que cuando la velocidad del viento es muy fuerte, los sistemas de freno (hidráulico, tambor o de aire) deben activarse para no dañar el equipo. Se desperdiciará la energía cuando la máquina haya rebasado el punto de arranque y llegue al punto de máximo aprovechamiento para la que fue diseñada, entonces seguirá trabajando a esta velocidad, pero desperdiciará parte de la energía del viento. Los aerogeneradores están diseñados para producir energía eléctrica de la forma más barata posible. Así están generalmente diseñados para rendir al máximo a velocidades alrededor de 15 metros por segundo.

#### **1.5.1.6.5. Otros**

La unidad de refrigeración contiene un ventilador eléctrico usado para enfriar el generador. Además contiene una unidad de refrigeración del aceite empleada para enfriar el aceite multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores enfriados por agua. Por otra parte en caso de tormentas y haya una descarga eléctrica producida por un rayo, las aspas estarán hechas de un material no conductor de la electricidad o tendrán un pararrayos que llevará la electricidad a tierra.

### **1.6. Aspectos geográficos generales**

Se describen los elementos geográficos que se consideran fundamentales del sitio para ser tomados en cuenta en el proceso de implementación, instalación y mantenimiento de la maquinaria y el equipo.



### **1.6.1. Marco de referencia**

El presente trabajo se desarrollará en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-Sur, ITUGS ubicado en Palín, Escuintla. Este municipio es de suma importancia, debido a que es donde los Pocomames, cultura maya, ejerció mucha influencia sobre el territorio, dejando su huella en el sentir del pueblo, además de sus tradiciones. Esta región se caracteriza también por tener los narradores de historias de la región.

### **1.6.2. Ubicación y acceso**

El municipio de Palín está localizado a 40 kilómetros al sur de la ciudad capital de Guatemala, a 12 kilómetros al sur del lago de Amatitlán, y a 17 kilómetros al norte de la cabecera departamental de Escuintla, es atravesado de este a oeste por la carretera CA-9, ruta al pacífico asfaltada de cuatro carriles, transitable en todo tiempo. Cuenta también con caminos y veredas vecinales de terracería que lo unen con los municipios vecinos y propiedades rurales entre sí, transitable en todo tiempo hacia Santa María de Jesús y Antigua Guatemala, Sacatepéquez, San Vicente Pacaya, Escuintla, Aldea La Periquera.

### **1.6.3. Clima**

El clima es variado, predominante templado, que origina selvas tupidas de tipo tropical.

### **1.6.4. Topografía**

Se encuentra situada sobre la cordillera (Sierra Madre), por lo que su estructura es accidentada y con una pendiente que termina en el mar. En su

parte norte, el departamento se encuentra propiamente sobre la cordillera eruptiva del país, ofreciendo en consecuencia un aspecto variado en su topografía; grupos volcánicos como los de Pacaya, notable sistema de la América Central, serranía de complicadas y elevadas crestas altiplanicies dilatadas desfiladeros y barrancos profundos cráteres que revelan la actividad volcánica y lagunas que son pruebas de los trastornos geológicos verificados en el suelo.

#### **1.6.5. Vegetación típica del lugar**

La riqueza natural ha cedido espacio al cultivo de café, cardamomo, las plantaciones de algodón, caña de azúcar, y la ganadería, las zonas llanas, antes cubiertas de selvas tropicales, hoy poseen ecosistemas abiertos de sábana. Por condición natural, la sábana es húmeda, con árboles aislados de conacaste, ceiba y palo blanco.

La orilla del mar se compone de arenas grises y residuos de las materias volcánicas del norte. Escuintla es recorrida por muchas corrientes fluviales cuyo destino es el Océano Pacífico.

#### **1.7. Aspectos socioeconómicos**

Se presenta información relevante en torno a los aspectos sociales y económicos que caracterizan el lugar, e identifican el entorno en que está conformada el área.

### **1.7.1. Aspectos sociales**

El idioma principal es el español, pero en esta zona también se encuentra el idioma pocomam. Se elaboran tejidos tradicionales de algodón, además se trabajan bordados en hilo, tradicionales de este pueblo milenario único en el departamento que aún mantiene sus tradiciones y costumbres ancestrales a través de su dialecto heredado de la cultura maya. Se fabrican entre otras cosas, juguetes de madera así como lo son las marimbas y muebles.

### **1.7.2. Aspectos económicos**

Posee tierras fértiles que la hacen productora de infinidad de productos agrícolas, entre los cuales se tiene; caña de azúcar, cardamomo, frutas, maíz, legumbres y frijol; el cultivo del café es por el que se sostiene la gran mayoría de pobladores agricultores, y otro gran porcentaje a través de la industria de la maquila como operarios.



## **2. ESTUDIO DE MERCADO**

### **2.1. Antecedentes de los mercados eléctricos rurales**

El sector eléctrico de Guatemala está ampliamente diversificado y con un número significativo de agentes participantes en las diferentes actividades de la industria (generación, transmisión, distribución, comercialización y grandes consumidores) agrupados alrededor de la existencia de un mercado eléctrico. Este mercado se origina de las reformas estructurales ocurridas en el país a mediados de la década de los años noventa como resultado de procesos de apertura y respuesta ante el embate de crisis sectoriales de oferta de energía en el país.

Como resultado muy importante de estas reformas debe destacarse el importante avance que ha logrado el país.

A partir de 1990 logro remontarse de un 35,8 por ciento, hasta un 83,7 por ciento en 2007. Este esfuerzo requirió de una ampliación de más de 1 300 megavatios de potencia en ese mismo período.

Merece mención indicar que el esfuerzo en términos de mejoría de la cobertura eléctrica no significó una disminución en la participación de las energías renovables: las energías renovables aportaban en 1995 un 58 por ciento, y en 2008 un 59,9 por ciento de la energía.

## **2.2. Características principales del servicio de energía eléctrica**

En el 2008 la actividad de generación el sector eléctrico presenta una capacidad instalada de 2 227 megavatios, con 37 centrales, 10 públicas y 27 privadas, sirviendo esa potencia una demanda máxima de 1 430 megavatios. De la capacidad instalada total, el 34 por ciento es hidroeléctrico; el 49 por ciento es térmico y el 2 por ciento es geotérmico. El 16 por ciento corresponde a cogeneración, lo que indica una buena participación adicional del sector privado en este tipo de producción de electricidad, la cual de por si es significativa.

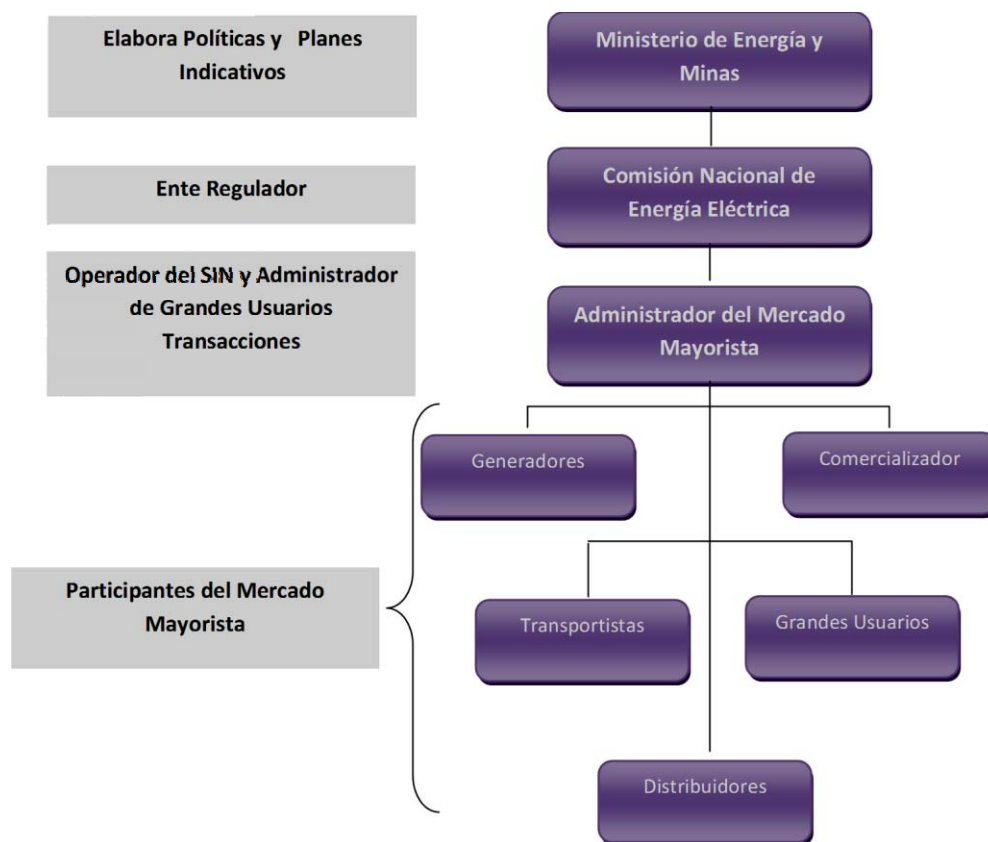
En el sector de generación hay actores que concentran una proporción importante de la actividad, dentro de los cuales cabe destacar a la estatal Empresa de Generación Eléctrica del INDE (EGEE), con un 33 por ciento de la generación neta, a *Duke Energy* con un 12 por ciento, y al conjunto de los Ingenios Azucareros, que participan como un bloque en el mercado, con un 11 por ciento. Estos tres grupos concentran un 56 por ciento de la generación.

De acuerdo a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) operan en Guatemala 11 centrales hidroeléctricas con capacidad en el rango de ser menores o iguales a 10 megavatios y que en conjunto representan 48,4 megavatios. Estas plantas entregan su energía directamente a los comercializadores.

El Sistema de Transmisión está integrado por la infraestructura de transporte líneas, subestaciones, operando básicamente en tres niveles de voltaje: 230/138/69 kilovoltios. Está conformado por el Sistema Principal y el Sistema Secundario. Estando el Sistema Principal compartido por los Generadores y las interconexiones a otros países. El Sistema Secundario es el medio de interconexión de un generador a la red principal.

Los transmisores deben tener una capacidad de transporte mínima de diez megavatios (10 MW) en la transmisión de electricidad, participa la empresa estatal Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE), que pertenece al Instituto Nacional de Electricidad (INDE), y la Transportista Eléctrica Centroamericana, S.A. (TRELEC), que pertenece al Grupo Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA). En conjunto operan una red de 3650 kilómetros, de las cuales un 83 por ciento pertenecen a ETCEE y un 17 por ciento a TRELEC.

Figura 5. Estructura del subsector eléctrico



Fuente: elaboración propia.

El Sistema de Distribución está integrado por la infraestructura de distribución líneas, subestaciones y las redes de distribución que opera en tensiones menores a 34,5 kilovoltios y que en el 2007 distribuyeron 5 097 gigavatios hora. Las distribuidoras tienen que tener un mínimo de 15000 usuarios. En la distribución participan las siguientes 3 empresas privadas: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA), Distribuidora de Electricidad de Occidente, S.A. (DEOCSA), Distribuidora de Electricidad de Oriente, S.A. (DEORSA) y adicionalmente, 14 sistemas municipales. En la comercialización participan 18 empresas que comercializaron 1973 gigavatios hora. Como grandes consumidores existen 40 empresas que consumieron 412 gigavatios hora en ese año.

### 2.3. Demanda de energía eléctrica

En la actualidad el ITUGS consume energía que le suministra la red de energía comercial, en el caso particular Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA).

Tabla II. **Consumo mensual de energía eléctrica**

Concepto	Promedio	Máximo	Mínimo
Energía (kWh)	12519,23	14700,00	10500,00
Potencia máxima (kWh)	76,19	94,50	66,50
Potencia Contratada (kW)	125,00	125,00	125,00

Fuente: elaboración propia, con datos del ITUGS.

La demanda anual es de 150 230 kilovatios hora, lo cual representa en un promedio de consumo mensual de 12 519 kilovatios hora, dependiendo del mes



que se observe los consumos variaran, debido a que en los meses de noviembre y diciembre, las actividades en las instalaciones son mínimas por receso anual, sin embargo de enero a octubre, los consumos han llegado hasta un consumo promedio mensual de 14 700 kilovatios hora.

Bajo las consideraciones indicadas anteriormente se presenta la demanda y así poder suministrar energía a través del recurso natural que se encuentra en dicho sector (energía eólica), considerando que es un recurso de energía limpia, pudiendo iniciar con el suministro de energía para iluminación el cual no requiere de mucha potencia.

Así mismo, se aprovecharía dicho sistema para presentarlo como parte del pensum de estudios de los alumnos del establecimiento, para que puedan aprovechar de manera tangible el proceso de producción de dicha energía.

#### **2.4. Demanda de potencia pico**

La potencia contratada en el Instituto es de 125 kilovatios, por lo que el cargo por potencia contratada es en promedio de 52,77 quetzales por kilovatios, lo cual representa alrededor del 25 por ciento del costo total del pago mensual, pagando alrededor de Q.10 000,00 mensuales por dicho rubro.

#### **2.5. Perfil de los tipos de usuarios**

Para poder observar el comportamiento del consumo de los distintos usuarios, se desagrega cada usuario en función del tipo de usuario y de esta manera poder observar mejor el nivel de demanda.

## **2.5.1. Usuarios institucionales**

Estos son los usuarios que generan mayor nivel de consumo y están registrados o declarados dentro de la estructura organizativa del instituto por lo cual son determinantes en la operación del instituto.

### **2.5.1.1. Talleres**

Además de ello están los laboratorios de máquinas herramientas, los cuales necesitan de un sistema de energía de alta potencia, para hacer funcionar dichas máquinas en horarios de clases y de laboratorio.

### **2.5.1.2. Equipo**

El instituto tecnológico también cuenta con las carreras de electrónica y electricidad, en los cuales se imparten laboratorios con equipo de computación y redes para lo cual se hace necesario de la alimentación de energía eléctrica con un buen nivel de calidad, regulación, etc., para que los equipos, los cuales son de muy alto costo, tengan la energía necesaria para funcionar por largos períodos.

### **2.5.1.3. Iluminación**

Por una parte están los sistemas de iluminación para los diferentes salones de clases, laboratorios y área administrativa, así también la iluminación de las áreas externas a los salones e iluminación de corredores y campo de *football*.

## **2.5.2. Usuarios agroindustriales**

Estos usuarios no son necesariamente indispensables dentro de la estructura organizativa, así como no son determinantes dentro del proceso operativo de la institución, sin embargo requieren de energía para trabajar.

### **2.5.2.1. Riego**

El instituto mantiene los alrededores de las instalaciones con distintos tipos de flores y árboles, los cuales deben de tener un sistema de riego para conservar el ecosistema interno del tecnológico, por lo que posee un sistema de riego electrónico que regula la distribución de agua en todas las áreas externas, para alimentar dichos dispositivos se hace necesario un sistema de alimentación de energía.

### **2.5.2.2. Bombeo de agua**

Por otro lado está el sistema de bombeo de agua, ya que todas las instalaciones están bajo el suministro de agua por medio de un sistema de pozo mecánico, el cual para poder bombear dicha agua necesita de un sistema de bombas para el suministro del vital líquido en las distintas instalaciones así como para el riego.

## **2.6. Fuentes de información**

Considerando que para poder determinar la cantidad de energía demandada en las instalaciones del ITUGS, se hizo necesaria la solicitud formal al departamento de contabilidad de la USAC Central, debido a que por los acuerdos administrativos, entre el instituto y la sede central de la Universidad,

es la contabilidad central la que se hace cargo de los pagos de energía eléctrica.

Se tuvo acceso a información de los recibos de los últimos 24 meses a la elaboración de la presente investigación, para lo cual se desagregó dicha información en dos partes.

La primera parte es el despliegue de información en base a dinero, para poder observar los rubros más importantes a tomar en cuenta, así como el desempeño del sistema de energía en términos monetarios.

Por otro lado se desplegó la información por tarifa de cada rubro cobrado, observándose que la institución paga por dos aspectos importantes, uno es por consumo de energía y el otro es por penalización, en este último se debe de tomar en cuenta que la penalización se da, cuando no se cumple a cabalidad los acuerdos realizados con la compañía suministradora de energía, esto puede ser por un factor de potencia con mayor consumo de energía reactiva así como también por rebasar la meta de potencia contratada con ellos, por lo cual la empresa comercializadora penaliza mensualmente.

## **2.7. Otros mercados**

En los alrededores del área existen varias colonias que podrían fácilmente adquirir parte de la energía que se produciría en el tecnológico, tales como las colonias balcones I, Balcones II, Residenciales Valle de las flores así como Colonia Palinche, estos se encuentran dentro de un radio promedio de 1 kilómetro, los cuales en su conjunto reúnen la cantidad de aproximadamente 5 000 hogares.

Otros posibles compradores sería la empresa que esta contigua al Instituto Tecnológico, que es una Maquiladora para teñir tela de exportación y para producción de artículos en Guatemala, la cual cuenta con altos niveles de consumo de energía para su proceso de producción.

## **2.8. Oferta de energía**

El objetivo principal es poder tener de manera tangible equipos y el sistema para el aprovechamiento de la energía eólica y así generar energía eléctrica, para el suministro de una pequeña área en donde se pueda iluminar con algunos focos, y que estos disminuyan el consumo que se tiene con la compañía que actualmente suministra la energía al instituto, de tal forma que en la manera en que se puedan ir abarcando cada vez más áreas para iluminar, entonces el consumo externo disminuirá, de tal suerte, que al final se pueda disminuir el pago por factura de consumo de energía eléctrica, siendo esta disminución de pago, la fuente de pago para los equipos de energía eólica.

Bajo el precepto anterior se puede decir que la pequeña central eólica, suministrará una cantidad mínima de energía de 400 vatios.

## **2.9. Precio de la energía**

Se entiende por Sistema Nacional Interconectado (SIN) como aquella red eléctrica por la cual se entrega la energía eléctrica al usuario final. Se debe tener presente que el Sistema Nacional Interconectado consta de generadores de energía, de líneas eléctricas de transmisión y distribución, subestaciones eléctricas, centros de transformación monofásicos y trifásicos y el usuario final.

La facturación por energía deberá seguir un proceso y una forma de cobro en base a los precios establecidos en una base legal entre las empresas de electricidad y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y las autoridades del país regidas en base a los reglamentos de las anteriores entidades. El Administrador del mercado mayorista es el encargado de regular, quien vende y a qué horas, la energía al usuario final.

Los precios son sujeto de ajustes trimestrales según la variabilidad de la economía y los precios de los combustibles a nivel internacional, la energía en el área sur de Guatemala, es suministrado por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA), la cual es regida por el sistema de regulación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE.

De este manera se tiene un cargo fijo promedio aproximado de Q. 200.00, el cargo por energía es de 1,31 quetzales por kilovatio, sin embargo se han tenido cargos hasta por 1,74 quetzales por kilovatio, llegando a pagar por este cargo hasta Q. 21 910,62 en un mes; pagando en costo total entre 24 y 28 mil quetzales mensuales en consumo de energía eléctrica.

Tabla III. **Precio mensual de energía eléctrica ITUGS**

Concepto	Unidad Medida	Promedio	Máximo	Mínimo
Cargo fijo por Cliente (sin iva)	Q/usuario-mes	199,22	201,00	194,43
Cargo x Energía (sin iva)	Q/kWh	1,31	1,74	1,10
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	Q/kWh	38,10	38,51	36,80
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	Q/KW	52,77	55,61	21,74

Fuente: elaboración propia, con datos del ITUGS.

En la tabla siguiente se observan los pagos efectuados mensualmente a la empresa suministradora de energía sin ningún tipo de recargos.

Tabla IV. **Consumo mensual de energía eléctrica ITUGS**

Concepto	Unidad Medida	Promedio	Máximo	Mínimo
Cargo fijo por Cliente (sin iva)	Q/usuario-mes	Q 199,22	Q 201,00	Q 194,43
Cargo x Energía (sin iva)	Q/kWh	Q 16 402,51	Q2 1910,62	Q14 461,24
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	Q/kWh	Q 2 905,85	Q 3637,59	Q 2446,99
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	Q/KW	Q 6 596,15	Q 6 950,70	Q 2717,90
Pago total sin recargos	Q	Q26 103,73	Q28 315,35	Q24 232,19

Fuente: elaboración propia, con datos del ITUGS.

Además del consumo de energía consumida mensualmente, el ITUGS paga por concepto de Penalización x Incumplimiento de NTSD, alrededor de 9 mil quetzales por dicho rubro.

Todos los valores presentados en quetzales, son sin incluir el impuesto al valor agregado IVA.

## 2.10. Beneficios potenciales

Existe varios beneficios que se pueden obtener de la generación de energía a través del recurso eólico, uno de ellos será la disminución de la factura mensual de energía la cual es extraordinariamente alta debido a los distintos factores que se enumeraron en el análisis de la demanda de energía en el lugar, por otro lado, haciendo énfasis en dos de los objetivos del instituto tecnológico, los cuales dicen así: "Fomentar y desarrollar la investigación tecnológica, de otras ciencias y disciplinas afines enfocados al ámbito nacional

y ampliar la cobertura institucional hacia nuevas áreas tecnológicas de impacto en la economía de la población guatemalteca”.

Lo anterior se enuncia, debido a que la región centroamericana, actualmente está compitiendo en la carrera del desarrollo tecnológico en el área de energía, esto a través de la competitividad en calidad, precio y oportunidad de nuevas energías que conlleven elementos que contrarresten el impacto del cambio climático, ya que Guatemala lidera en niveles de vulnerabilidad de dicho impacto.

Así mismo, en Panamá actualmente se está desarrollando una de las plantas de generación de energía eólica más grandes de Latinoamérica, aprovechando al máximo el recurso eólico en el lugar. Según estudios de varias instituciones en el campo del desarrollo de energía, hacen ver que Guatemala, es uno de los países que cuenta con alta capacidad de generación de energía eólica, sin embargo a la fecha aún no se cuenta con ninguna planta generadora a través del aprovechamiento de la energía eólica.

Por otro lado en el país aún no se cuenta con ningún centro de capacitación, investigación y aprovechamiento del recurso eólico a pesar de todos los argumentos presentados anteriormente, por lo que es necesario iniciar con la investigación en el campo y así poco a poco ir desarrollándose en el área para poder ser en un futuro de mediano plazo, líderes tanto en el estudio, investigación y desarrollo de este campo tan prominente.

#### **2.10.1. Para la institución**

Aprovechar al máximo la oportunidad que tiene la institución del apoyo que recibe de parte de la facultad de ingeniería de la universidad de san Carlos a través de su claustro de catedráticos, investigadores, alumnos,



infraestructura, estructura institucional así como el renombre que tiene dicha casa de estudios y trasladárselos de manera efectiva a los distintos grupos de alumnos que egresan del instituto.

Por otro lado se aprovecharía la oportunidad de desarrollar un campo tecnológico que aún no ha sido explotado en el país y de esta manera poder solicitar el apoyo de otras instituciones académicas y de gobierno para desarrollar en conjunto dicha tecnología, y liderar en este campo científico, obteniendo renombre e imagen institucional.

### **2.10.2. Para el país**

Guatemala aun no es reconocido como un país de investigación y desarrollo en el campo tecnológico, menos aún en el área energética, por lo cual se presenta la oportunidad para iniciar con un centro tecnológico enfocado en desarrollo de capital humano en el área de energías limpias ya que la institución fue constituida con la idea de liderar proyectos que puedan colaborar con el desarrollo económico sostenible del país.

Obteniendo como fruto profesional en el área energética que colabore en la implementación, estudio, investigación y desarrollo de energías limpias en el campo empresarial y gubernamental para el desarrollo de una economía libre de emisión de gases de efecto invernadero.

### **2.10.3. Para el ambiente**

Guatemala es uno de los países más expuestos a desastres naturales en el mundo, ya que se ubica en una zona de incidencia de eventos climatológicos, sísmicos, volcánicos y pluviales extremos, que en varias ocasiones han

desencadenado pérdidas y daños significativos. El país se encuentra entre los 15 países con mayor riesgo de inundaciones, entre los 20 países más impactados por huracanes y entre los 45 países más afectados por terremotos, en el mundo. Durante el período 1980-2010 ocurrieron 67 desastres naturales, la mitad de ellos acontecieron en la última década.

Los desastres naturales tienen impactos en la infraestructura productiva (como el transporte) y social (como centros escolares y viviendas), y en la agricultura, lo que genera repercusiones en el desempeño de la economía principalmente en el corto plazo.

Es por ello que se hace necesario que Guatemala predique con el ejemplo en el desarrollo de energías más limpias para disminuir la generación de gases de efectos invernadero teniendo de esta manera argumentos sólidos para así insistir en elementos que ayuden a disminuir los efectos del cambio climático, tanto en Guatemala como a nivel mundial.

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización

La elección y ubicación de la zona o región donde se realizará el proyecto, así como la elección del terreno específico (sitio) donde se realizara son elementos que tienen influencia en la implementación del proyecto.

##### 3.1.1. Macro localización

Los vientos con los que cuenta Guatemala, ingresan por el océano atlántico y atraviesan todo el país, así mismo se chocan con los vientos que ingresan del océano pacífico, según se muestra en la figura 6.

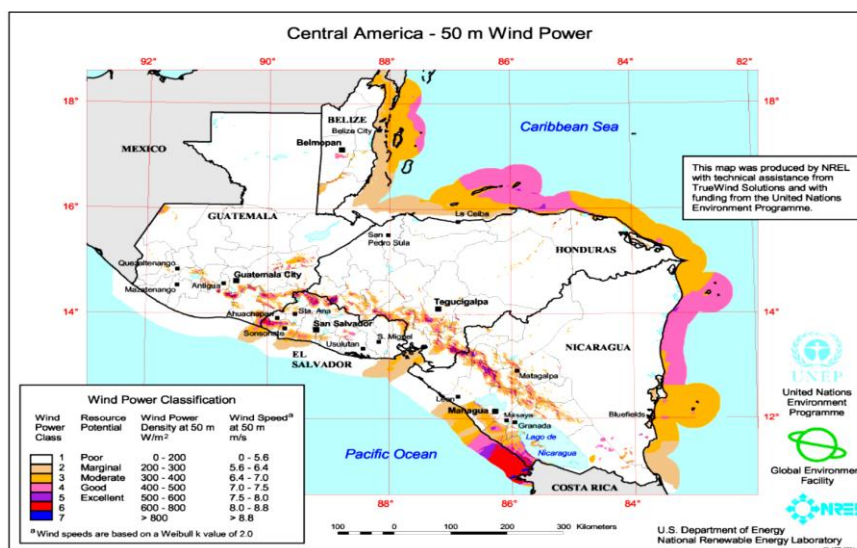
Figura 6. Mapa de dirección del viento en Centroamérica



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología (INSIVUMEH).

Así mismo, el programa de Naciones Unidas para el ambiente así como el *Global Environment Facility* y el departamento de energía de los Estados Unidos ha realizado una clasificación del viento para Centroamérica, según se muestra en la figura 7.

Figura 7. Clasificación del viento en Centroamérica

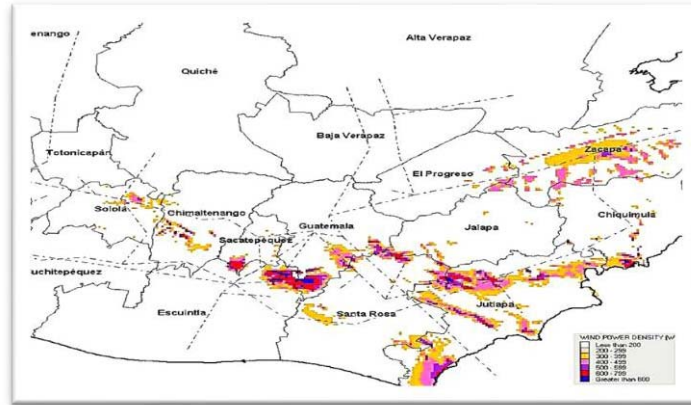


Fuente: Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL).

En la parte sur de Guatemala, se observa según la figura 7, que indica el rango en que se encuentra el área a emplazar que es de entre 6,4 y 7,5 metros por segundo (m/s), lo cual representa un rango aprovechable para la generación de energía a través del recurso eólico.

Además de esto se ha realizado localización de densidad del viento para Guatemala por parte de entidades internacionales para la supervisión del Ministerio de Energía y Minas, según se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Densidad del viento en Guatemala**

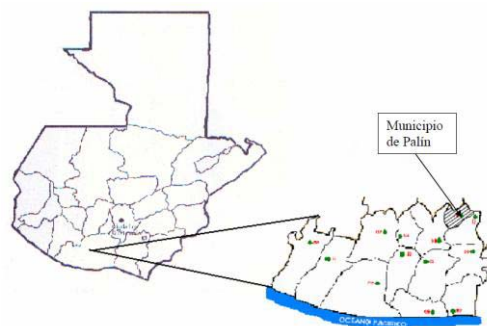


Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM).

### 3.1.2. **Micro localización**

Una vez definida la zona o población de localización, se determina el terreno conveniente para la ubicación definitiva del proyecto. Este apartado se debe formular cuando ya se ha avanzado el estudio de ingeniería del proyecto.

Figura 9. **Ubicación geográfica de Palín**



Fuente: Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

Figura 10. **Posición geográfica del ITUGS**



Fuente: Google Earth. Consulta: 26 febrero 2012.

A través de la herramienta *Google Maps*, se ha podido ubicar a través de satélite, la ubicación física del sitio ITUGS, proporcionándonos tanto posición geográfica como fotografía del mismo, según se muestra en las figuras 10 y 11.

Figura 11. **Fotografía de relieve de ubicación del ITUGS**



Fuente: Google Earth, 27 febrero 2012.

### **3.2. Potencial eólico**

Este es la capacidad de flujo de aire de una región geográfica, por lo que en nuestro caso el sitio es: Palín, Escuintla,

En Guatemala existen varias entidades que se han dedicado a la medición de la velocidad del viento, ya sea para usos meteorológicos, datos aeronáuticos y para estudios de potencial eólico en el país. El Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es la institución que posee un amplio registro de velocidades del viento en diferentes sitios en Guatemala. La mayoría de estos datos son recolectados con anemómetros.

Antes de invertir en la instalación de una planta de generación de energía eólica, o por lo menos, en una pequeña turbina eólica, es necesario realizar un estudio del potencial eólico de la zona en cuestión. Instalar una turbina eólica en una zona con poco viento, es como instalar una bomba de agua en un pozo seco. Si se desea obtener el mayor rendimiento de nuestra turbina, se debe realizar mediciones para determinar el punto con mayores velocidades de viento en el transcurso del año.

Ante la necesidad de investigar sobre fuentes de energía renovable, varias instituciones se han dedicado a recolectar información sobre el potencial eólico de diferentes regiones del país, para determinar los puntos donde sería factible instalar turbinas eólicas.

Algunas de las instituciones que han realizado estudios de potencial eólico en diferentes regiones en Guatemala son:

- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).
- Instituto Nacional de Electrificación (INDE).
- Ministerio de energía y Minas (MEM).
- National Rural Electric Cooperative Association (NRECA).

Para determinar los sitios de mediciones eólica, se han tomado en cuenta factores topográficos, biológicos e incluso sociales. Los factores topográficos, consideran los cañones de viento, los pasos entre montañas, las cuencas de los ríos y las zonas costeras. Los factores biológicos comprenden la forma de la vegetación, ya que ésta es afectada por la velocidad del viento que incide sobre ella. Y en los factores sociales, se realiza una investigación con las personas de diferentes regiones para obtener datos cualitativos de la velocidad del viento y de las regiones consideradas de grandes vientos.

De acuerdo a los estudios realizados por las anteriores instituciones, los lugares que poseen mayor potencial eólico en Guatemala son: Palín, Escuintla y la capellanía, Huehuetenango, en donde las velocidades promedio de viento son mayores a 5 m/s en el transcurso del año y en sus conclusiones indican que este potencial no es tanto por su altura sino por su topografía, al encontrarse entre montañas que conducen el viento desde el océano.

En el anemógrafo, se registra el valor promedio de viento cada período de tiempo, este promedio será el resultado de la suma de todos los valores instantáneos registrados durante períodos de tiempo más cortos entre el número de mediciones realizadas en ese período. Esto es debido a que el viento presenta un comportamiento demasiado aleatorio, por lo cual, será necesario tomar un elevado número de muestras antes de poder registrar o



desplegar la velocidad promedio. Además este determinará la desviación media y estándar de los datos respecto a la media aritmética.

Todos estos datos serán registrados para luego ser recuperados por una computadora y en el programa de análisis de potencial eólico se utilizará para realizar un modelo del comportamiento real del viento.

### **3.3. Criterios técnico-energéticos**

Los métodos estadísticos utilizados por el instrumento para la obtención de una velocidad promedio serán:

- Media aritmética
- Desviación media
- Desviación estándar

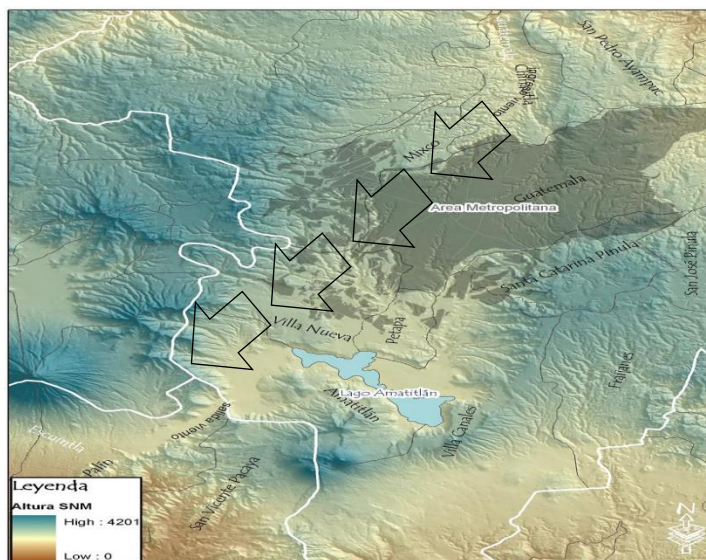
En el programa de análisis eólico, se utilizará procesamiento de señales en tiempo discreto para poder procesar toda la información almacenada por el instrumento. El objetivo de este procesamiento digital de señales, es de poder determinar valores reales de velocidades del viento, de acuerdo a los datos obtenidos en las mediciones realizadas. Para los datos existentes en el país, no se ha realizado un análisis de los datos obtenidos, y además la forma en que fueron realizadas las mediciones, no nos permiten determinar patrones reales del comportamiento de la velocidad del viento.

#### **3.3.1. Dirección y velocidad del viento**

En Centroamérica los vientos Alisios que atraviesan el océano Atlántico entran aproximadamente en una dirección N 15 E, los vientos alisios al entrar a

CA encuentran diferentes características topográficas que desaceleran o aceleran el viento, dentro de esas características que aceleran el viento, las más importantes son: cordilleras perpendiculares a la dirección del viento que se elevan sobre una planicie, preferiblemente con un lago viento arriba. Embudos provocados por dos montañas, también elevadas sobre una planicie. Otros que puedan reducir el área de paso del flujo de viento por lo cual tenga que aumentar la velocidad.

Figura 12. **Dirección del viento en Palín, Escuintla**



Fuente: elaboración propia con información de Google Earth. Consulta: 27 febrero 2012.

Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el valle de la ciudad reciben flujos de vientos procedentes del norte, del Caribe y del Sur, los cuales son conducidos en su recorrido por la formación montañosa que bordea la cuenca de Amatitlán y las que rodean la capital, en la figura 12 se observa la dirección del viento. Los vientos del norte y del Caribe entran en el valle capitalino por Chinautla con

mucha fuerza para dirigirse hacia Amatitlán y de ahí los succiona (efecto Venturi) el Cañón de Palín para salir hacia la costa del Pacífico. Y debido a la fuerza con que entran y salen del valle, las corrientes de vientos limpian de contaminantes la ciudad y municipios del área metropolitana.

Los beneficios de la energía eólica es que aunque la inversión inicial es alta, el viento es gratis, sus costos son estables en el largo plazo (principalmente mantenimiento) y no dependen de los precios internacionales del petróleo, búnker o carbón para generar.

### **3.3.2. Potencia**

La potencia, está dividida entre efectiva y la reactiva, la primera de estas es la que realmente en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo, y la segunda es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores, de esta forma la potencia aparente es la suma geométrica de estas dos potencias.

El factor de potencia define al cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. En el caso de las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, el voltaje y la corriente están en fase, por lo que el factor de potencia es unitario, pero el caso de las cargas capacitivas como los condensadores, motores, etc., la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje, por lo que se tiene un factor de potencia adelantado.

Para producir trabajo, las cargas eléctricas requieren de un cierto consumo de energía, pero cuando este consumo es en su mayoría energía reactiva entonces disminuye el factor de potencia. Lo cual ocasiona mayor

consumo de corriente, aumento de las pérdidas en conductores, sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución e incremento de las caídas de voltaje, esto a su vez genera problemas económicos ya que incrementa la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente así como penalización de hasta un 120 por ciento del costo de la facturación.

Por lo que se debe analizar el problema y así corregir dicho factor de potencia para eliminar todos los inconvenientes indicados anteriormente, principalmente si se tiene un factor de potencia menor a 0,9, una de las formas de corregir es a través de la instalación de un banco de capacitores.

### **3.3.3. Consideraciones**

La energía contenida en el viento depende de su velocidad y de su densidad (en general no es factible instalar aerogeneradores a más de 2 500 metros sobre el nivel del mar, la cantidad de energía que se puede cosechar depende más del diámetro del rotor (área de barrido) que del tamaño del generador, la energía del viento se pierde por dos factores: Fricción y Turbulencia.

La potencia generada aumenta exponencialmente respecto al cubo de la velocidad del viento. Hay que tomar en cuenta que no es recomendable que el viento tenga componente vertical de dirección, el límite de inclinación del viento es 15 por ciento.

Existen distintos tipos de turbinas eólicas sin embargo las que han monopolizado el mercado son las tripala, por ser las más eficientes. Entre sus características más útiles en función del recurso disponible se encuentran:

comienzan a generar a los 3.5 metros por segundo, se detienen a los 25 metros por segundo y son autodireccionables.

En el desarrollo del presente trabajo, se pretende instalar un sistema de energía eólica con el objetivo de que el ITUGS tenga un laboratorio de enseñanza-aprendizaje del aprovechamiento de la energía eólica de manera real, y de esta manera los alumnos puedan recibir las cátedras a través de talleres.

Pudiendo tener de manera palpable datos concretos de energía producida, mediciones de potencia, carga, corriente y voltaje, velocidad del viento, características técnicas del equipo, resistencia de los materiales utilizados, pérdidas por temperatura, observación de aumento y disminución de la producción de energía en función de la velocidad del aire, propuestas de mejoras de los equipos, etc.

Debido a ello se presenta el siguiente equipo, el cual podría proveer energía para un aprovechamiento de 400 watts dentro de las instalaciones del Instituto el aerogenerador a utilizar es una turbina modelo Air-X 400W Marca *Southwest Windpower* tiene un microprocesador que proporciona una regulación del voltaje, el cual busca el punto de máxima potencia proporcionando además un control de la velocidad para un funcionamiento silencioso y un control (para la desaceleración) de la velocidad en caso de vientos fuertes.

Figura 13. **Aerogenerador Air-X**



Fuente: Manual del usuario Air-X.

Tabla V. **Consumo mensual de energía eléctrica**

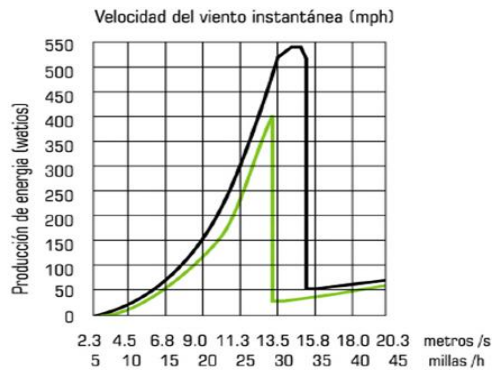
Díámetro rotor	1,17 metros
Peso	6 kg.
Velocidad de viento de encendido	3,0 m/seg
Carga	12,5 m/seg
Rango de regulación	12v 13,6v - 17,0v fábrica a 14,1 24v 27,2v - 34,0v de fábrica a 27,2v
Tamaño de fusible recomendado	12v 50 Amps para vientos flojos 24v 30 Amps para vientos flojos
Tamaño del cable del yaw	2,6 mm diámetro (#10 AWG)
Dimensiones del mástil	48mm diámetro exterior 1 ½ " según lo previsto para un mástil de 40

Fuente: Manual del usuario Air-X.

La figura siguiente muestra las prestaciones que se puede esperar de la turbina de viento Air-X. El Air-X considera un rango con una amplia gama de potencia para velocidad de viento dadas. Esto es un intento de cubrir la variabilidad de la salida de corriente de la turbina con diferentes niveles de turbulencia de vientos. Con vientos flojos o con ausencia de viento, se debe

esperar los valores de la curva. Durante condiciones de viento fuertes y con fuerte turbulencias la corriente de salida podría caer hacia valores especificados en la curva dibujada por debajo.

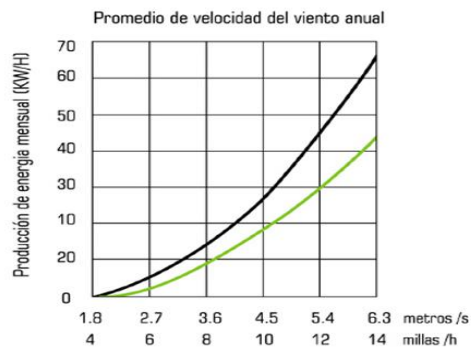
Figura 14. **Prestaciones de turbina Air-X**



Fuente: Manual del usuario Air-X.

La curva de banda ancha mostrada por encima en la siguiente figura marca el promedio de producción mensual.

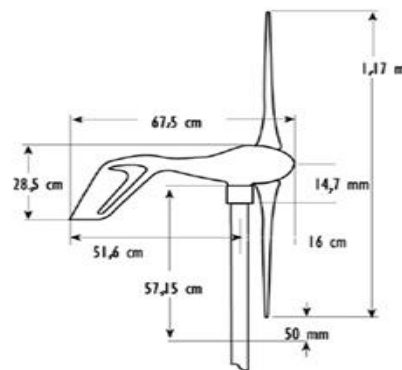
Figura 15. **Producción mensual promedio de turbina Air-X**



Fuente: Manual del usuario Air-X.

La figura 16 muestra las medidas que tiene el aerogenerador, el cual según se observa posee características aerodinámicas que proporcionan un aprovechamiento eficiente del viento.

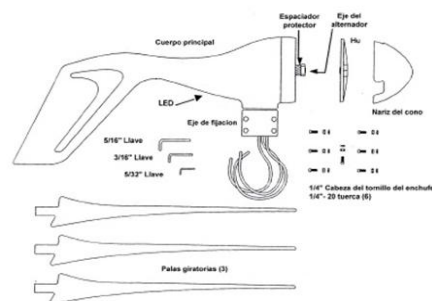
Figura 16. **Dimensiones del aerogenerador Air-X**



Fuente: Manual del usuario Air-X.

Así mismo se presentan las partes de las que está compuesto el aerogenerador.

Figura 17. **Partes principales del aerogenerador Air-X**



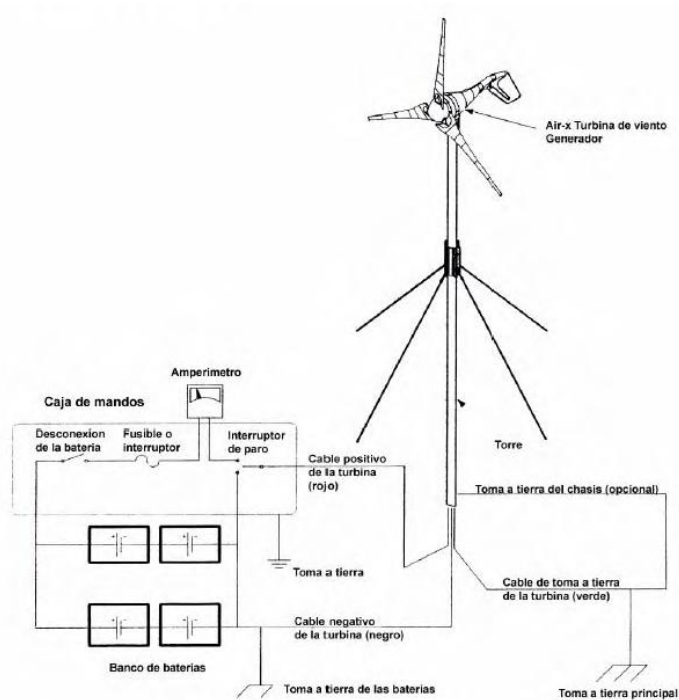
Fuente: Manual del usuario Air-X.



Las características físicas de las aspas es que son aerodinámicas de paso variable, producidas mediante un proceso de modelado por inyección que produce aspas de excepcional consistencia, lo cual proporciona un funcionamiento más silencioso y mínima vibración, así mismo tienen un ángulo que incrementa su capacidad de rotación inicial, y se desplaza de mejor forma a velocidades de viento más altas.

El sistema eólico a instalar estaría compuesto por un banco de baterías que almacena la energía acumulada durante el tiempo en que el aire es óptimo, así mismo un sistema de tierra física que lo protege de descargas, así como una caja de mandos y por último la torre que sostiene el aerogenerador

Figura 18. **Diseño del sistema eólico**



Fuente: Manual del usuario Air-X.

### 3.3.4. Mediciones

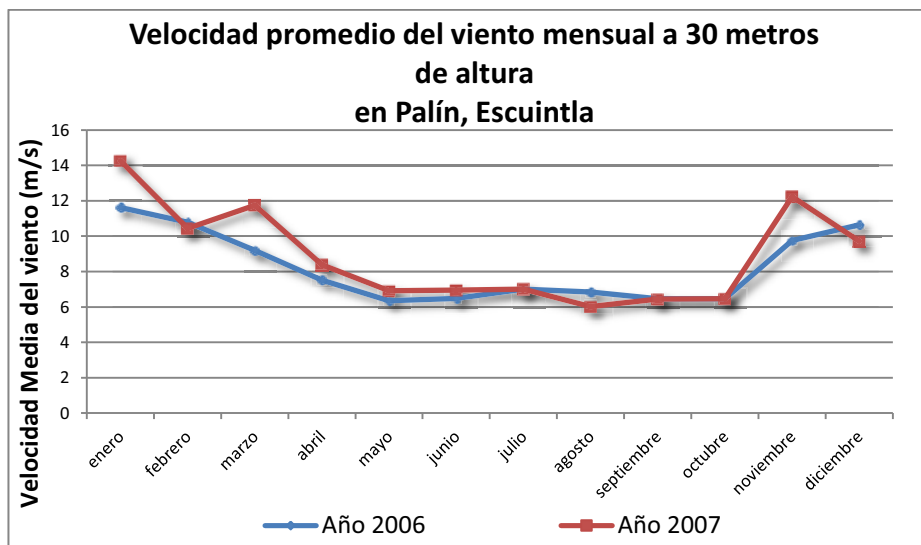
En la tabla siguiente se presenta el resumen de los datos obtenidos por una entidad durante 2006 y 2007, los cuales fueron depurados y organizados, ya que los mismos son mediciones de cada 10 minutos, durante las 24 horas de cada día, por lo que se agregaron para obtener datos mensuales.

Tabla VI. **Velocidad del viento en ITUGS**

Mes	Velocidad del Viento en (mts./seg.)	
	Año 2006	Año 2007
enero	11,62	14,26
febrero	10,78	10,44
marzo	9,19	11,75
abril	7,52	8,38
mayo	6,35	6,91
junio	6,48	6,95
julio	7	7
agosto	6,84	6,02
septiembre	6,47	6,44
octubre	6,46	6,46
noviembre	9,76	12,23
diciembre	10,65	9,72

Fuente: elaboración propia con datos de NRECA y MEM.

Figura 19. **Velocidad del viento**



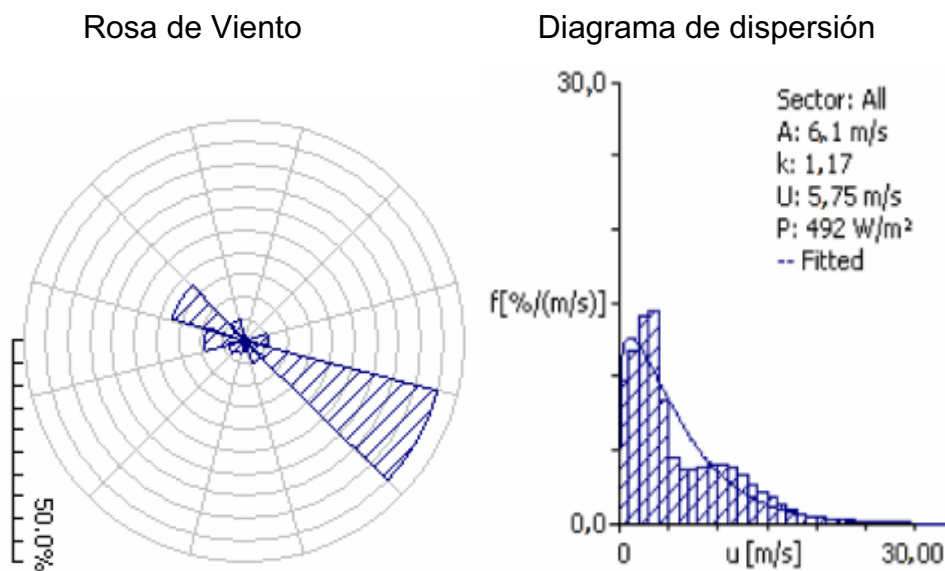
Fuente: elaboración propia con datos de NRECA y MEM.

Según la figura 19 las mediciones de velocidad del viento del 2006-2007 a una altura de 30 metros fue de 8,5 metros por segundo y a 20 metros fue de 8,27 metros por segundo en promedio. En el 2007 se observó un aumento alrededor del 7,5 por ciento de viento respecto al del 2006. En el 2006 la medición de la velocidad del viento fue de 8,26 metros por segundo cuando en el 2007 fue de 8,88 metros por segundo a una altura de 30 metros. A la altura de 20 metros los valores fueron de 7,85 y 8,72 respectivamente.

El régimen del viento es influenciado por la topografía local. Los volcanes al norte del sitio canalizan el viento para los valles, por lo cual hay una dominancia de la dirección del viento y el viento es fuertemente unidireccional. La dirección del viento es dominado un 45 por ciento del tiempo en la dirección noreste. La energía contenida de otras direcciones del viento es pequeña. La dirección y distribución de velocidad se presentan en diagramas de rosa de

viento para ver la dirección y diagrama de distribución de frecuencias como se observa en la figura 20:

Figura 20. **Dirección y distribución de velocidad del viento**



Fuente: elaboración propia con datos de NRECA.

Las mediciones de la velocidad del viento presentadas no siguen una Distribución de Weibull, pero al separar los períodos del tiempo, si se puede observar dicha distribución. Si se divide en dos estaciones o períodos, se observa que de abril a octubre es decir en época de lluvia siguen una distribución diferente al del período noviembre-marzo o sea época seca, en donde se puede encontrar una distribución Weibull en el último período indicado.

La diferencia en el promedio de la velocidad del viento entre las dos estaciones es de aproximadamente 5 metros por segundo. La distribución de velocidad es muy diferente en ambas estaciones. En la época seca la velocidad

del viento sigue una distribución acorde a la de Weibull es decir en el período de noviembre a marzo de cada año.

### **3.3.5. Análisis de información**

En el caso de las mediciones eólicas, hay que considerar algunos parámetros para el diseño de un instrumento de medición eólico. La altura del dispositivo y el área de barrido.

Se debe recordar que la velocidad del viento está en función de la altura en la que se encuentra. Las normas de la Oficina de Normalización Nacional de los Estados Unidos, han determinado como estándar de medición de la velocidad del viento la altura de 10 metros sobre el suelo.

El área de barrido determinará la cantidad de energía proveniente del viento, que nuestro dispositivo puede tomar. Para el diseño de anemómetros, se debe considerar otro aspecto para el área del elemento sensor, como lo es la diferencia de presiones debido a una diferencia de altura respecto al punto más bajo del sensor y el punto más elevado de éste. El modelo para determinar la relación entre la velocidad mecánica del dispositivo y la velocidad del viento, se puede complicar demasiado. Es por eso, que los anemómetros de rotación, siempre tienen un área de barrido bastante pequeño para simplificar el análisis de construcción y funcionamiento del dispositivo.

Todo instrumento de medición eólica debe de cumplir con ciertos parámetros, dentro de ellos existe una nomenclatura de velocidades, que debe ser registrada por el fabricante en el manual del usuario, para la correcta utilización del dispositivo de medición.

La nomenclatura de velocidades dadas por los fabricantes son:

- Velocidad indicada
- Velocidad calibrada
- Velocidad verdadera

La velocidad indicada (*Indicated Airspeed, AIS*), es la velocidad leída directamente del anemómetro. Las velocidades indicadas pueden variar con los cambios de altura, debido a la variación de presión del aire.

La velocidad calibrada (*Calibrated Airspeed, CAS*), es la velocidad corregida al momento de la instalación. Está es conocida también como la velocidad de error cero. Cuando se calibra un instrumento en una cámara de viento con una velocidad bajo condiciones controladas, se toma que la diferencia entre la velocidad indicada y la velocidad calibrada es igual a cero.

La velocidad verdadera (*True Airspeed, TAS*), es la velocidad indicada corregida por un factor dependiente de la densidad del viento y por otro factor dependiente de la altura de instalación del dispositivo.

Los instrumentos de medición de viento generalmente se colocan en una torre meteorológica (Met). Las alturas están definidas por la altura a la que estará el generador y las aspas. Con la medición de anemómetros a distintas alturas se puede calcular el Gradiente de Velocidad de Viento. Es recomendable colocar dos veletas a distintas alturas, una como base y la otra veleta redundante (ambas deberán presentar la misma dirección, de no ser así será considerado problema de alineación). La medición de la velocidad de viento en un período de un año se gráfica y esto se llama Frecuencia de Viento, la frecuencia de viento es fundamental para calcular el Factor de Planta.

Se obtuvo información de mediciones de viento proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas, por lo que se utilizó dicha la información (dentro de los niveles de aceptación), para poder obtener el análisis.

La información fue procesada a través del software *Symphonie*, y procesada a través de hojas electrónicas, la fecha de la información en el 2006 y 2007 desde el 1ro. de enero hasta el 31 de diciembre de cada año.

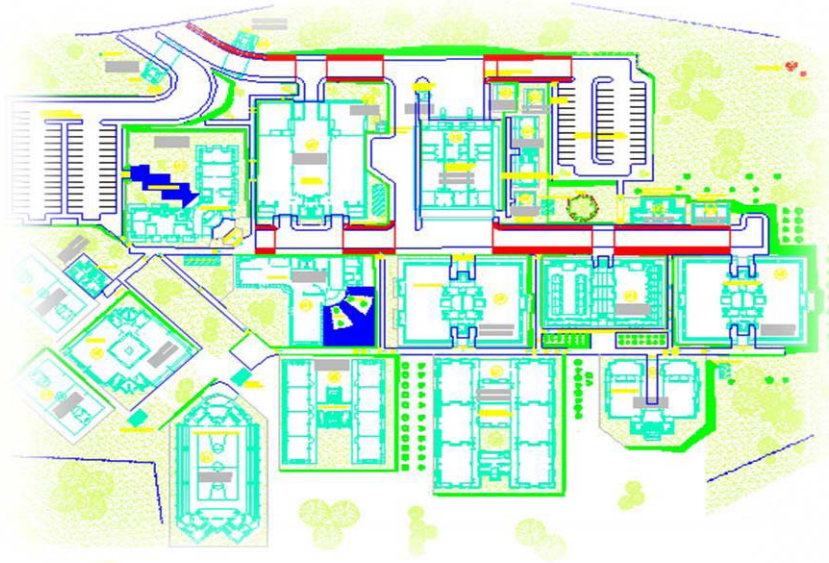
### **3.4. Diseño del parque eólico**

El diseño del parque eólico hace referencia, no sólo a variables de eficiencia energética, donde se encuentran exigencias de separación y alineación, sino también a criterios de estética paisajística.

#### **3.4.1. Aspecto topográfico**

Planta del Conjunto 15,71 hectáreas, con una área construida de 10 000 metros cuadrados.

Figura 21. **Plano de planta del ITUGS**



Fuente: ITUGS.

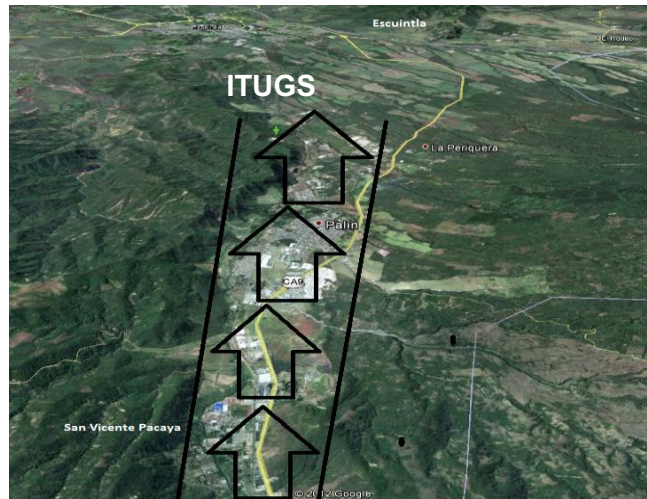
Figura 22. **Fotografía de planta del ITUGS**



Fuente: Google Maps. Consulta: 27 de febrero 2012.



Figura 23. **Dirección del viento del área de Palín e ITUGS**



Fuente: Google Maps. Consulta: 28 de febrero 2012.

### **3.4.2. Aspecto geológico**

El valle del río Michatoya corta la cadena volcánica entre los poblados de Amatitlán, que pertenece al departamento de Guatemala y Palín. Acá se empieza a observar la transformación de las montañas en planicies, de acuerdo al Mapa Geológico General del Estudio de Aguas subterráneas en el Valle de la ciudad de Guatemala (INSIVUMEH, 1978), el lugar se encuentra mayormente asentado sobre materiales piroclásticos del cuaternario del tipo Q1 (lavas basálticas, dacíticas y riodacíticas), una pequeña porción con Qa1(aluviones) y la región montañosa formada por T1 (lavas andesíticas-basálticas y riolíticas).

### **3.4.3. Obra eléctrica**

La transferencia de energía por el interior del parque eólico, desde las turbinas hasta el punto de enganche con la red pública, comporta una serie de

impactos relacionados con el propio transporte de electricidad. Ésta será la única acción a examinar en este proceso. Como caso especial dentro de esta acción se tendrá en cuenta la presencia y funcionamiento de un tendido eléctrico aéreo como parte integrante del proyecto eólico.

#### **3.4.4. Diseño de la subestación**

La electricidad demandada en cada momento tiene que producirse de forma simultánea en centro de generación; para ello se necesita un equilibrio complicado y permanente entre generación y consumo, y una red de transporte que distribuya esa demanda.

Las características y distancia de la red en el punto de entronque condicionarán el diseño y trazado de la instalación de evacuación eléctrica.

El sistema eléctrico estará compuesto por los siguientes elementos:

- Instalación eléctrica de Baja Tensión (BT): puede ser interna a cada aerogenerador o bien externa.

El primer caso consiste en unos circuitos internos al equipo y que conectan la salida del generador con el centro de transformación, también interno, y que eleva el potencial eléctrico de salida desde Baja Tensión (unos 690 voltios) hasta Medía Tensión (20 kilovoltios). Este transformador será de tipo seco, al estar localizado dentro de la torre.

Adicionalmente existirá otro circuito de control (comunicaciones) y servicios auxiliares, para la alimentación de los equipos de regulación, motores de orientación, unidad hidráulica y otras herramientas de

alumbrado y maniobra de la góndola y la torre. Las canalizaciones, que discurren entre el aerogenerador y el centro de control, tendrán las mismas medidas que las descritas para cables de BT.

- Red subterránea de Media Tensión (MT): que conecta a los aerogeneradores entre sí y a la subestación del parque eólico. Por ello, el trazado de la red de MT se basa en la disposición de los aerogeneradores y es aconsejable que la zanja del cableado transcurra paralela a los caminos de acceso a dichos molinos. La profundidad de los cables, que habitualmente se instalan directamente enterrados en las zanjas, debe ser algo superior a un metro. Dicha medida es resultado de un equilibrio entre dos factores condicionantes, desde un punto de vista técnico, pues la cercanía a la superficie favorece la disipación de calor a la atmósfera, mientras que la humedad suele aumentar con la profundidad. La anchura media de las zanjas se mantiene en 0,60 metros.
- Toma de Tierra: además de las canalizaciones descritas, el aerogenerador debe estar provisto de una específica para la red de tierra, con excavación de una zanja de 1 metro de profundidad por 0,40 metros de anchura, colmatada con tierra vegetal y material procedente de la propia excavación o préstamo. El resto de zanjas se rellenan con diferentes capas de materiales, como arenas, grava y cinta señalizadora.
- Subestación colectora: transforma los niveles de MT de las líneas de transmisión del parque en valores superiores de tensión. De este modo permite ajustar las medidas de energía eléctrica generadas en el parque (MT) con las necesarias para su vertido a la red de la compañía distribuidora de electricidad de la zona (AT).

La tipología de la subestación transformadora MTIAT consiste en una estructura prefabricada mixta (intemperie-interior), para lo cual sólo será necesario el acondicionamiento del firme sobre el que se vaya a instalar.

- Evacuación en Alta Tensión (AT): la forma más eficiente de evacuar la energía producida por el parque eólico es la Alta Tensión, de modo que se disminuyan las pérdidas a causa de caídas de tensión por resistencia y reactancia. Las condiciones técnicas de conexión del parque eólico a la red pública de distribución de electricidad tendrán en consideración la tensión nominal y máxima de servicio, potencia máxima de cortocircuito admisible, capacidad de transporte de línea, tipo de red aérea o subterránea, sistema de puesta a tierra, etc. Excepcionalmente, y dependiendo de la distancia de la subestación de distribución hasta el punto de entronque con la red general, la conexión mediante línea de AT.

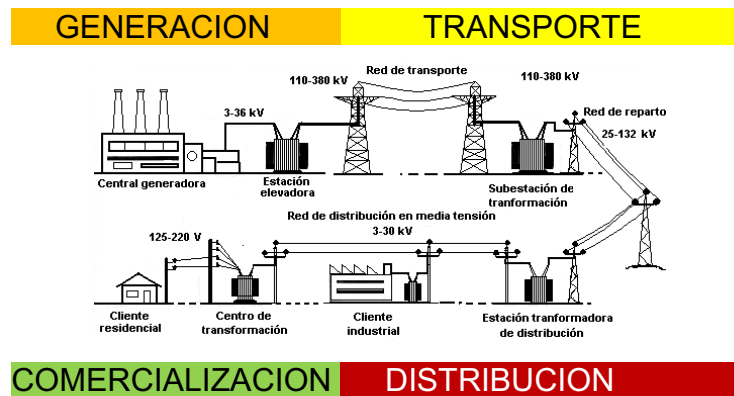
#### **3.4.5. Obra civil**

El centro de transformación se situará fuera de la torre, éste será un pequeño prefabricado de composición modular y estructura de hormigón, y cuyas dimensiones tendrá una superficie aproximada de 4 por 2,5 metros, y una altura de 2,3 metros. Puede asentarse en la misma zapata de anclaje del aerogenerador o inmediatamente a su lado. Se requieren canalizaciones que conecten el cableado con su centro de transformación, con tamaño aproximado de 0,80 metros de profundidad por 0,60 metros de anchura.

### 3.4.6. Distribución

La integración de las energías renovables en las redes de distribución es todo un reto cuando cómo está ocurriendo la efectividad en los costes aumenta la proporción de energías renovables producidas.

Figura 24. Estructura del suministro eléctrico



Fuente: elaboración propia.

La Red de Distribución de la Energía Eléctrica o Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). Se lleva a cabo por los Operadores del Sistema de Distribución

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

Subestación de Distribución de casitas: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.), cuya función es reducir

los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.

### Circuito primario y secundario

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

La primera está constituida por la red de reparto, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 25 y 132 kilovoltios. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kilovoltios y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (125/220 ó 220/380 voltios).

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto.

Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red.

## **4. ESTUDIO ADMINISTRATIVO-LEGAL**

### **4.1. Marco legal de los servicios energéticos**

Muchos de los recursos naturales que tiene el país han sido aprovechados a través de la historia, pero a principios de la década de 1970 se empezó a tratar de aprovecharlos a un nivel generalizado. Desde entonces se ha impulsado el aprovechamiento de: energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biodigestión anaeróbica para la producción de biogás como combustible.

La creciente demanda de energía que rebasa los niveles de la oferta, ha despertado preocupación tanto en el sector público como en el sector privado, lo cual ha obligado al gobierno, y específicamente al Ministerio de Energía y Minas, el que tiene a su cargo la definición de la política energética a nivel nacional a encaminar las acciones a seguir.

La Dirección de Planificación y Desarrollo Energético es la Dependencia del Ministerio que tiene a su cargo el estudio, fomento, control, supervisión y fiscalización de todo lo relacionado con fuentes renovables de energía.

En 1986, debido a la crisis energética que afectaba -y afecta- al país, agudizada por la dependencia de productos petroleros importados, el gobierno de la república, se vio en la necesidad de crear una ley que promoviera el uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Por esto durante este año se publicó el Decreto Ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, el cual declara de utilidad y necesidad pública la implantación de políticas energéticas encaminadas a promover el

desarrollo, promoción y uso eficiente de las fuentes nuevas y renovables de energía.

El Decreto Ley 20-86 constituye un instrumento a través del cual se impulsa y coordina la acción de los ejecutores de proyectos de desarrollo y aprovechamiento de los recursos renovables, como son: la radiación solar, el viento, el agua, la biomasa y cualquier otra fuente energética que no sea la nuclear ni la producción por hidrocarburos. Beneficia a los titulares de proyectos a través de incentivos fiscales.

Este Decreto Ley tiene como objetivos principales, los siguientes:

- La reducción del consumo nacional de hidrocarburos
- El suministro de energía en áreas rurales
- El mejoramiento del nivel de vida de la población y
- El aprovechamiento racional de los recursos naturales

El Reglamento de la Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía preceptúa que las personas individuales o jurídicas interesadas en el desarrollo ejecución y mantenimiento de proyectos, deberán presentar ante la Dirección General de Planificación y Desarrollo Energético, la debida solicitud escrita, conteniendo:

- Datos de identificación de la persona individual o jurídica interesada en ejecutar un proyecto.
- Descripción de los beneficios que solicita y, puntualmente: listado detallado, especificando descripción, cantidad, costo partida arancelaria y destino o utilización dentro del proyecto, de la maquinaria y equipo.
- Estudio de factibilidad técnica y financiera del proyecto.



- Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, para los proyectos comprendidos dentro de los siguientes casos:

Para Proyectos que utilicen energía eólica para la generación de energía eléctrica con capacidad instalada mayor de 50 Megavatios.

Dentro del marco del Decreto Ley 20-86 se han aprobado hasta el momento 31 proyectos de fuentes renovables de energía, los que juntos suman alrededor de 280 megavatios, a realizarse en término de 3 años. De éstos, 11 son de hidroenergía, 15 de biomasa y 5 de energía solar.

#### **4.2. Visión**

“En el 2020, el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur será la institución educativa de mayor desarrollo y reconocimiento en la región centroamericana por los técnicos-profesionales que egresan en diferentes áreas del desarrollo industrial, agrícola y servicios, así como por su valor estratégico en el desarrollo social y económico de las diferentes comunidades, empresas y sector público, en el marco de una perspectiva del desarrollo humano y ambiental sostenible y del mandato de excelencia académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala”.

#### **4.3. Misión**

“Es misión del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, formar técnicos de educación superior, de alto rendimiento y competitividad, íntegras, éticas, con una visión humanística cuyo trabajo permita incrementar los índices

de productividad y eficiencia que provoquen un cambio socio económico positivo en Guatemala”.

Promover el acervo cultural de la comunidad guatemalteca, no obstante su naturaleza tecnológica.

Contribuir al desarrollo local y regional que respalden políticas públicas del Estado y de la Universidad de San Carlos como parte de la extensión universitaria.

Mejorar la calidad de vida de la población principalmente en las áreas de reasentamiento, reinserción y áreas circunvecinas.

Facilitar la reinserción económica de la población rural, mediante el desarrollo de actividades productivas y la generación de empleo e ingresos.

Promover la investigación tecnológica y de otras ciencias y disciplinas afines enfocadas al estudio y solución de los problemas nacionales.

Apoyar a las unidades académicas que la integran en su servicio de docencia, investigación y extensión. Siendo las unidades académicas las encargadas de otorgar los grados académicos de los estudios correspondientes.

Brindar asistencia técnica y tecnológica en todas las actividades económicas, para contribuir a la competitividad y al desarrollo del país.

#### **4.4. Objetivos estratégicos**

Los objetivos del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, son:

General:

Aportar a la sociedad guatemalteca, técnicos universitarios con una sólida e integrada formación profesional y disciplinar, aportando al desarrollo del país desde el ámbito de la educación.

Objetivos específicos y estratégicos:

- Formar técnicos universitarios en las áreas de la Electrónica, Procesos de Manufactura, Metalmecánica, Refrigeración y Aire Acondicionado, Producción Alimentaria.
- Estar a la vanguardia de la educación superior a nivel nacional y regional en el área tecnológica.
- Investigar, estudiar y transmitir todos los aspectos concernientes a la ciencia y la tecnología.
- Fomentar y desarrollar la investigación tecnológica y de otras ciencias y disciplinas afines enfocados al ámbito nacional.
- Ampliar la cobertura institucional hacia nuevas áreas tecnológicas de impacto en la economía de la población guatemalteca.

- Establecer alianzas estratégicas y convenios de apoyo, para fortalecer la tecnología.
- Ampliar y fortalecer el alcance de convenios institucionales con organismos internacionales e Instituciones de formación profesional.
- Apoyar a las unidades académicas que integran el Consejo Directivo, del ITUGS, a realizar las prácticas o actividades necesarias para desarrollar su docencia.
- Normar todos los procedimientos del ITUGS

#### **4.5. Tipo legal de organización**

La base legal sería la siguiente:

Está ubicado en una porción de la finca Jurún Marinalá, donada por el Instituto Nacional de Electrificación –INDE-, por medio de acuerdo gubernativo 528-2003 de fecha 7 de octubre de 2003.

Mediante acuerdo gubernativo 43-2003, se creó el Marco Legal del El Instituto Tecnológico Guatemala Sur –ITGS-, y se nombra a FONAPAZ como Agencia Ejecutora de un préstamo proporcionado por el Gobierno de China-Taiwán, ICDF (*International Cooperation and Development Fund*, por sus siglas en inglés; Fondo Internacional de Cooperación y Desarrollo).

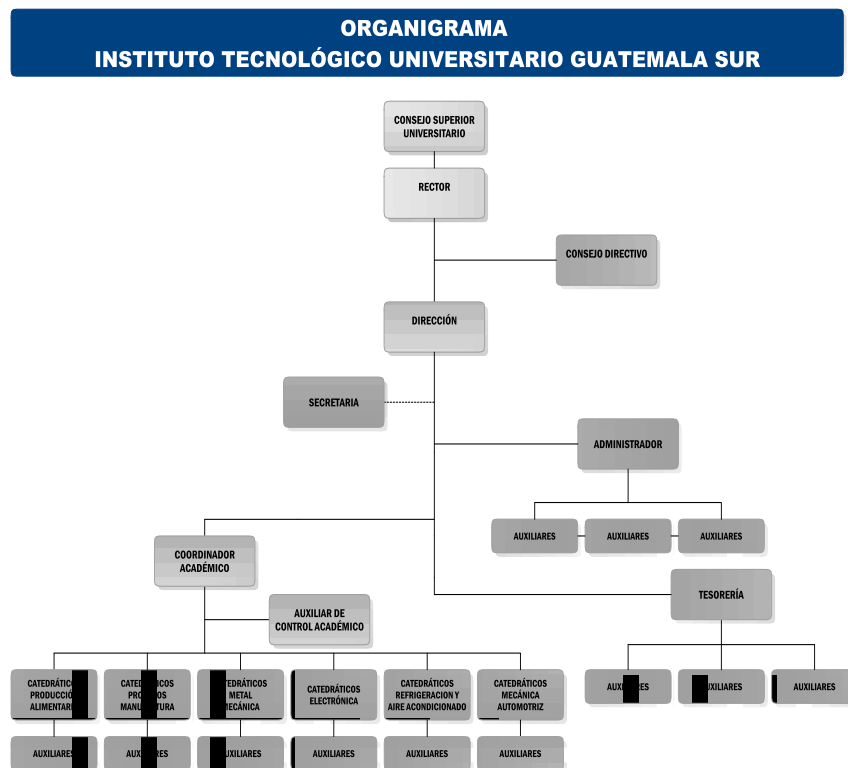
Por medio de acuerdos de rectoría No. 0718 y 0936-2008 de fechas 24 de abril y 21 de mayo, respectivamente, por medio de los cuales el señor Rector Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios nombró la Comisión que tendría a su cargo

la sistematización y ejecución del traslado de la infraestructura, bienes y equipo del Instituto Tecnológico Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como la realización del análisis, evaluación y diseño del currículo de estudios de las carreras en dicha unidad académica.

#### 4.6. Estructura orgánica

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala – Sur, está dirigido por el Consejo Superior Universitario de la Universidad de San Carlos de Guatemala y constituido organizacionalmente en forma funcional de la siguiente manera:

Figura 25. Organigrama ITUGS



Fuente: Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS).

#### **4.7. Logística de la organización**

El Instituto cuenta con dos autoridades máximas (director y administrador) las cuales están relegadas a un Consejo Directivo presidida por el Decano de la Facultad de Ingeniería, dicho consejo a su vez depende del Consejo Superior Universitario y el rector de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La dirección del ITUGS esta enrolada directamente en los aspectos de largo alcance para cumplir con los objetivos estratégicos tales como: enfoque de la institución, mercado objetivo de la academia, gestión de cooperación técnica y capacitación continua de catedráticos, coordinación con el sector privado para la colocación de los alumnos egresados y retroalimentación de información para el enfoque que el mercado necesita de los profesionales egresados, mientras que la parte administrativa esta delegada al administrador el cual se encarga de optimizar al máximo los recursos económicos, financieros, infraestructura, obra civil, etc., gran parte de estas actividades están en dirigir el mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos eléctricos que componen a la institución, así como prever nuevas formas aprovechar los recursos con que cuenta el instituto.

La dirección lleva consigo la reunión periódica de con la rectoría y la facultad de ingeniería de la USAC para poder revisar las metas y alcances llevados a cabo en los periodos de tiempo establecidos para su cumplimiento.

## **5. MEDIO AMBIENTE**

### **5.1. Definición de medio ambiente**

El medio ambiente es un sistema formado por elementos naturales y artificiales que están interrelacionados y que son modificados por la acción humana. Se trata del entorno que condiciona la forma de vida de la sociedad y que incluye valores naturales, sociales y culturales que existen en un lugar y momento determinado.

Los seres vivos, el suelo, el agua, el aire, los objetos físicos fabricados por el hombre y los elementos simbólicos componen el medio ambiente. La conservación de éste es imprescindible para la vida sostenible de las generaciones actuales y de las venideras.

### **5.2. Importancia del cuidado del medio ambiente**

El cuidado del medio ambiente es de gran importancia hoy en día para cualquier empresa. Los factores ambientales que se relacionan directa e indirectamente como lo puede ser; aire, ríos, fincas y casas, entre otros.

### **5.3. Problemas medioambientales**

Deforestación: se ha equilibrado con los recientes programas de reforestación que se manejan en el departamento, se han controlado las talas inmoderadas en un bajo porcentaje, pues muchas personas obtienen licencia para talar de uno a cinco árboles y talan 3 veces esa cantidad. En relación a los

incendios forestales en los últimos años estos se han tornado incontrolables, debiéndose, ello principalmente a que personas indiscriminadamente los provocan con la intención de ampliar sus tierras para cultivos o para pastorías.

Pérdida de la biodiversidad: lo que más afecta a la flora y fauna local, son los incendios forestales provocados año tras año por el hombre de manera directamente o indirectamente, y en algunos casos la quema de arbustos y maleza sin ningún control las cuales son una práctica para preparar la tierra en la siembra del frijol y maíz, sin embargo las consecuencias es la pérdida de muchas especies de vegetales y animales como es el caso del venado y tepezcuintle.

Deterioro de los suelos: los suelos son clase VI , que se caracterizan por ser suelos con limitaciones severas que restringen su uso a pastos, bosques y vida silvestre y clase VII que son suelos con limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para cultivos y restringen su uso fundamentalmente al pastoreo, lotes de árboles o vida silvestre.

Reducción y contaminación de los recursos: este recurso se ha visto diezmado en alto porcentaje en los últimos años debido a diversos factores entre los cuales se puede mencionar la eliminación de la cobertura forestal, lo que ha provocado la interrupción del ciclo hídrico, reduciendo sobre manera el caudal de las fuentes de agua. Otro factor es la sobré utilización que se hace de dicho recurso al emplearlo para surtir de agua entubada y potable a las diferentes comunidades rurales y casco urbano.

En cuanto a la contaminación de dicho recurso las causas principales son: el beneficiado del café ya que se realiza en húmedo y aunque ya existan las técnicas adecuadas para mitigar el daño ambiental provocado por esta



actividad, lamentablemente no se ponen en práctica, pues esto significaría una inversión económica más, lo cual en estos momentos es dificultoso absorberlo para los cafetaleros locales debido a la baja en los precios del café a nivel nacional e internacional, como también a la falta de apoyo crediticio con préstamos blandos de bajo interés.

Otra causa importante son los sistemas de drenajes los cuales son vertidos directamente a los cauces de los ríos sin ningún tipo de tratamiento para reducir los niveles de contaminación a través de lagunas de sedimentación y oxigenación, como mínimo.

Contaminación por agroquímicos: este tipo de contaminación ambiental, debido a que se utilizan insecticidas a base de cobre para el control de algunas enfermedades fungosas en los cafetales y se agrava principalmente durante la temporada de lluvias por el proceso de escorrentía, ya que estos cultivos se encuentran en terrenos de ladera, arrastrándose de esta manera el agua contaminada hacia los ríos y quebradas donde las personas la utilizan para su consumo y el de sus animales domésticos. En cuanto a los envases de dichos productos químicos, actualmente se trabaja en el reciclaje.

#### **5.4. Estudio de impacto ambiental**

Conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales positivos y negativos de un proyecto y sus alternativas, presentado en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por los reglamentos y las guías técnicas.

#### **5.4.1. Definición de estudio de impacto ambiental**

Se denomina a las consecuencias provocadas por cualquier acción humana que modifique las condiciones de subsistencia o de supervivencia de los ecosistemas. Estas acciones humanas provocan efectos colaterales sobre el medio natural.

La gestión del impacto ambiental pretende reducir las intrusiones en los diversos ecosistemas y elevar al máximo las posibilidades de supervivencia a todas las formas de vida.

#### **5.4.2. Componentes básicos**

Los componentes básicos de del estudio de impacto ambiental deben estar basados en base a los objetivos, racionalidad y acción. Estos componentes están completamente articulados entre sí. Estos escenarios de transformación de la realidad constituyen espacios para que los diferentes actores interactúen concertando, negociando, articulando y coordinando sus distintos intereses.

##### **5.4.2.1. Evaluación ambiental estratégica**

Consiste en un proceso de evaluación ambiental aplicado a políticas y planes nacionales y gubernamentales así como a proyectos de trascendencia transnacional que impliquen la generación de patrones de desarrollo económico – social con impactos ambientales en sus áreas de influencia. Incluye la preparación de un informe escrito sobre los hallazgos de la evaluación para efectos de su uso en la toma de decisiones a nivel político.

#### **5.4.2.2. Evaluación de riesgo ambiental**

Es la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales, en un sitio particular, y durante un tiempo de exposición determinado. Se obtiene de relacionar la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con una intensidad específica, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. El riesgo puede ser de origen natural, geológico, hidrológico, atmosférico o provocado por el hombre.

#### **5.4.3. Propósito de un estudio de impacto ambiental**

Los primeros avances en el país en materia de organización ambiental, en el ámbito de práctica curricular, se dieron en 1949 en los llamados núcleos escolares campesinos del ministerio de medio ambiente, orientados al saneamiento básico ambiental, técnicas para el mejor aprovechamiento de los recursos de los suelos. Han pasado casi 50 años, en los cuales se han desarrollado encuentros a nivel de organización y que ponen de manifiesto que la “Organización ambiental forma parte integrante del proceso educativo, y que debería girar en torno a problemas concretos y con un enfoque interdisciplinario.”

En 1986 se promulga la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y en 1988 Guatemala se integra a la Red de Organización Ambiental para América Latina, procesos que sentaron las bases para formular la Estrategia de Organización Ambiental del País. Esta estrategia es respaldada por CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente), ahora el Ministerio de Ambiente, MINEDUC, y Consejo Superior Universitario fue avalado en 1996 por el congreso de la República, al hacer Organización de ella en la “Ley de Fomento de la Organización de la Conciencia Ambiental.”

La estrategia Nacional de Organización Ambiental establece en sus principios que forma parte integrante del proceso educativo. Debería tender a reforzar el sentido de los valores, contribuir al Organización social y preocuparse por la supervivencia del género humano. Debería obtener lo esencial de su fuerza de la iniciativa de los humanos y de su empeño en la acción e inspirarse en preocupaciones tanto inmediatas como del futuro, y que se entienden como la Organización y Organización de las diversas disciplinas y experiencias educativas que facilitan la percepción integrada del medio ambiente, haciendo posible una acción más racional y capaz de responder a las necesidades sociales.

Tiene por objetivo conocimientos, formar valores, desarrollar competencias y comportamientos que puedan favorecer la comprensión y la solución de los problemas ambientales”. Sin embargo, a estas acciones no se les han dado todo el impulso y difusión necesarios, para que sea efectivamente incorporada a las guías curriculares de todo nivel escolar, en organizaciones de base, en agentes de desarrollo y otros.

Es muy común ver tanto en el área urbana como rural, cómo inicia un basurero clandestino (no autorizado por las autoridades municipales), en la orilla de la carretera o en sitios baldíos en las colonias, a veces dentro de la comunidad y otras en las áreas periféricas de esta.

Los focos de contaminación tienen su inicio en cualquier lugar donde el ser humano tira sus desechos sólidos, que por lo general es en lugares desolados o terrenos baldíos, en otros casos se da también en la orilla de las carreteras menos transitadas y por lo general son aquellas que conducen a las comunidades rurales que en nuestro departamento las tenemos en dirección al norte, al oeste y el este.

Así inicia un basurero en el área rural, cuando personas en vehículos lanzan los desechos sólidos a la orilla de la carretera en lugares valdillos.

Entre las violaciones al medio ambiente se encuentran:

- Deforestación ilícita desde la pequeña hasta la gran escala.
- Rosas en campos de cultivos (Quema de rastrojos).
- Quema de los bosques.
- Desviación de causes del agua de los ríos.
- Mal uso del agua entubada.
- Mala educación en la colocación de la basura en su lugar.
- Negligencia en tirar bolsas de desechos sólidos en calles o sitios baldíos.
- Incendios forestales.
- Contaminación por humo de vehículos motorizados.
- Contaminación auditiva por aparatos con volumen alto.
- Escorrentías de aguas servidas a flor de tierra. Otros.

#### **5.4.4. Formato del estudio de impacto ambiental**

El formato que se presenta a continuación lo proporciona el Ministerio de Medio Ambiente y representa una guía de referencia para llevar a cabo el llenado del Formato de Evaluación Ambiental Inicial, el cual amplía lo requerido en el documento de formato.

Tabla VII. **Formato de estudio de impacto ambiental A**

Instrucciones	Para uso interno del MARN
<p><b>El formato debe proporcionar toda la información solicitada en los apartados, de lo contrario Ventanilla Única no lo aceptará.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Completar el siguiente formato de Evaluación Ambiental Inicial (EAI), colocando una X en las casillas donde corresponda y <b>debe</b> ampliar con información escrita en cada uno de los espacios del documento, en donde se requiera.</li><li>• Si necesita mas espacio para completar la información, puede utilizar hojas adicionales e indicar el inciso o sub-inciso a que corresponde la información.</li><li>• La información <b>debe</b> ser completada, utilizando letra de <b>molde legible</b> o a máquina de escribir.</li><li>• Este formato también puede completarlo de forma digital, el MARN</li><li>• Todos los espacios deben ser completados, incluso el de aquellas interrogantes en que no sean aplicables a su actividad (explicar la razón o las razones por lo que usted lo considera de esa manera).</li><li>• Por ningún motivo, puede modificarse el formato y/o agregarle los datos del proponente o logo(s) que no sean del MARN.</li></ul>	<p>No. Expediente:</p> <p>Clasificación del Listado Taxativo</p> <p>Firma y Sello de Recibido MARN</p>

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla VIII. **Formato de estudio de impacto ambiental B**

I.3	Teléfono _____	Fax _____	Correo electrónico: _____
<b>I.4 Dirección de donde se ubicará el proyecto:</b>			
Especificar Coordenadas UTM o Geográficas			
Coordenadas UTM (Universal Transverse de Mercator Datum WGS84)		Coordenadas Geográficas Datum WGS84	
<b>I.5 Dirección para recibir notificaciones (dirección fiscal)</b>			
<b>I.6 Si para consignar la información en este formato, fue apoyado por una profesional, por favor anote el nombre y profesión del mismo</b>			

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla IX. **Formato de estudio de impacto ambiental C**

II. INFORMACION GENERAL		
Se debe proporcionar una descripción de las operaciones que serán efectuadas en el proyecto, obra, industria o actividad, explicando las etapas siguientes:		
Etapas de:		
II.1 Etapa de Construcción**	Operación	Abandono
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades a realizar</li> <li>- Insumos necesarios</li> <li>- Maquinaria</li> <li>- Otros de relevancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades o procesos</li> <li>- Materia prima e insumos</li> <li>- Maquinaria</li> <li>- Productos y subproductos (bienes o servicios)</li> <li>- Horario de trabajo</li> <li>- Otros de relevancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- acciones a tomar en caso de cierre</li> </ul>
** Adjuntar planos		
<b>II.2 Área</b>		
a) Área total de terreno en m2: _____		
b) Área de ocupación del proyecto en m2: _____		

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).



Tabla X. **Formato de estudio de impacto ambiental D**

**II.3 Actividades colindantes al proyecto:**

NORTE \_\_\_\_\_ SUR \_\_\_\_\_

ESTE \_\_\_\_\_ OESTE \_\_\_\_\_

Describir detalladamente las características del entorno (viviendas, barrancos, ríos, basureros, iglesias, centros educativos, centros culturales, etc.):

DESCRIPCION	DIRECCION (NORTE, SUR, ESTE, OESTE)	DISTANCIA AL SITIO DEL PROYECTO

**II.4 Dirección del viento:**

**II.5 Datos laborales**

a) Jornada de trabajo: Diurna ( ) Nocturna ( ) Mixta ( ) Horas Extras \_\_\_\_\_

b) Número de empleados por jornada \_\_\_\_\_ Total empleados \_\_\_\_\_

c) otros datos laborales, especifique \_\_\_\_\_

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla XI. Formato de estudio de impacto ambiental E

**IV. 1 CUADRO DE IMPACTOS AMBIENTALES**

En el siguiente cuadro, identificar el o los impactos ambientales que pueden ser generados como resultado de la construcción y operación del proyecto, obra, industria o actividad. Marcar con una X o indicar que no aplica, no es suficiente, por lo que se requiere que se describa y detalle la información, indicando si corresponde o no a sus actividades (usar hojas adicionales si fuera necesario).

II.6 PROYECCIÓN DE USO Y CONSUMO DE AGUA, COMBUSTIBLES, LUBRICANTES, REFRIGERANTES, OTROS...							
CONSUMO DE AGUA, COMBUSTIBLES, LUBRICANTES, REFRIGERANTES, OTROS...							
	tipo	si/no	cantidad/ (mes, día, hora)	proveedor	uso	especificaciones u observaciones	Forma de almacenamiento
agua	servicio público						
	pozo						
	agua superficial						
	otro						
combustibles*	gasolina						
	diesel						
	bunker						
	glp						
	Otro						
lubricantes	Solubles						
	no solubles						
refrigerantes							
OTROS							

\*NOTA: Si se cuenta con licencia extendida por la Dirección General de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas, para comercialización o almacenamiento de combustibles, adjuntar copia

**III. TRANSPORTE**

III.1 En cuanto a aspectos relacionados con el transporte y parqueo de los vehículos de la empresa, proporcionar los datos siguientes:

- a) Número de vehículos \_\_\_\_\_
- b) Tipo de vehículo \_\_\_\_\_
- c) sitio para estacionamiento y área que ocupa \_\_\_\_\_

**IV. IMPACTOS AMBIENTALES QUE PUEDEN SER GENERADOS POR EL PROYECTO, OBRA, INDUSTRIA O ACTIVIDAD**

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla XII. **Formato de estudio de impacto ambiental F**

No.	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Tipo de impacto ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	Indicar los lugares de donde se espera se generen los impactos ambientales	Manejo ambiental Indicar qué se hará para evitar el impacto al ambiente, trabajadores y/o vecindario.
1	Aire	Gases o partículas (polvo, vapores, humo, hollín, monóxido de carbono, óxidos de azufre, etc.)			
		Ruido			
		Vibraciones			
		Olores			
2	Agua	Abastecimiento de agua			
		Aguas residuales Ordinarias (aguas residuales generadas por las actividades domésticas)	Cantidad:		
		Aguas residuales Especiales (aguas residuales generadas por servicios públicos municipales, actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias)	Cantidad:	Descarga:	
		actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias)			
		Mezcla de las aguas residuales anteriores	Cantidad:	Descarga:	
		Agua de lluvia	Captación	Descarga:	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

**Tabla XIII. Formato de estudio de impacto ambiental G**

No.	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Tipo de impacto ambiental (de acuerdo con la descripción del cuadro anterior)	Indicar los lugares de donde se espera se generen los impactos ambientales	Manejo ambiental Indicar qué se hará para evitar el impacto al ambiente, trabajadores y/o vecindario.
3	Suelo	Desechos sólidos (basura común)	Cantidad:		
		Desechos Peligrosos (con una o más de las siguientes características: corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables y bioinfecciosos)	Cantidad:	Disposición	
		Descarga de aguas residuales (si van directo al suelo)			
		Modificación del relieve o topografía del área			
4	Biodiversidad	Flora (árboles, plantas)			
		plantas)			
		Fauna (animales)			
		Ecosistema			
5	Visual	Modificación del paisaje			
6	Social	Cambio o modificaciones sociales, económicas y culturales, incluyendo monumentos arqueológicos			
7	Otros				

NOTA: Complementaria a la información proporcionada se solicitan otros datos importantes en los numerales siguientes.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla XIV. **Formato de estudio de impacto ambiental H**

V. DEMANDA Y CONSUMO DE ENERGIA	
<b>CONSUMO</b>	
V.1 Consumo de energía por unidad de tiempo (kW/hr o kW/mes)	_____
V. 2 Forma de suministro de energía	
a) Sistema público	_____
b) Sistema privado	_____
c) generación propia	_____
V.3 Dentro de los sistemas eléctricos de la empresa se utilizan transformadores, condensadores, capacitores o inyectores eléctricos?	
SI _____	NO _____
V.4 Qué medidas propone para disminuir el consumo de energía o promover el ahorro de energía?	
_____	

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Tabla XV. **Formato de estudio de impacto ambiental I**

VI. EFECTOS Y RIESGOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD		
<b>VI.1 Efectos en la salud humana del vecindario:</b>		
a)		
<input type="checkbox"/>	la actividad no representa riesgo a la salud de pobladores cercanos al sitio	
b)		
<input type="checkbox"/>	la actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de pobladores	
c)		
<input type="checkbox"/>	la actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de pobladores	
Del inciso marcado explique las razones de su respuesta, identificar que o cuales serian las actividades riesgosas:		
<b>VI.2 En el área donde se ubica la actividad, a qué tipo de riesgo puede estar expuesto?</b>		
a) inundación ( )	b) explosión ( )	c) deslizamientos ( )
d) derrame de combustible ( )	e) fuga de combustible ( )	d) Incendio ( )
)	e) Otro ( )	
Detalle la información explicando el por qué?		
_____		
_____		
_____		
<b>VI.3 riesgos ocupacionales:</b>		
<input type="checkbox"/>	Existe alguna actividad que represente riesgo para la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/>	La actividad provoca un grado leve de molestia y riesgo a la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/>	La actividad provoca grandes molestias y gran riesgo a la salud de los trabajadores	
<input type="checkbox"/>	No existen riesgos para los trabajadores	
Ampliar información:		
<b>VI.4 Equipo de protección personal</b>		
VI.4.1 Se provee de algún equipo de protección para los trabajadores? SI ( ) NO ( )		
VI.4.2 Detallar que clase de equipo de protección se proporciona		
VI.4.3 ¿Qué medidas propone para evitar las molestias o daños a la salud de la población y/o trabajadores?		

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Documentos que deben adjuntar al formato

- Plano de localización o mapa escala 1:50.000
- Plano de ubicación
- Plano de distribución
- Plano de los sistemas hidráulico sanitarios (agua potable, aguas pluviales, drenajes, planta de tratamiento)
- Presentar original y copia completa del formato al MARN y una copia para sellar de recibido
- Presentar documento foliado (de atrás hacia delante)
- Fotocopia de cedula de vecindad
- Declaración jurada

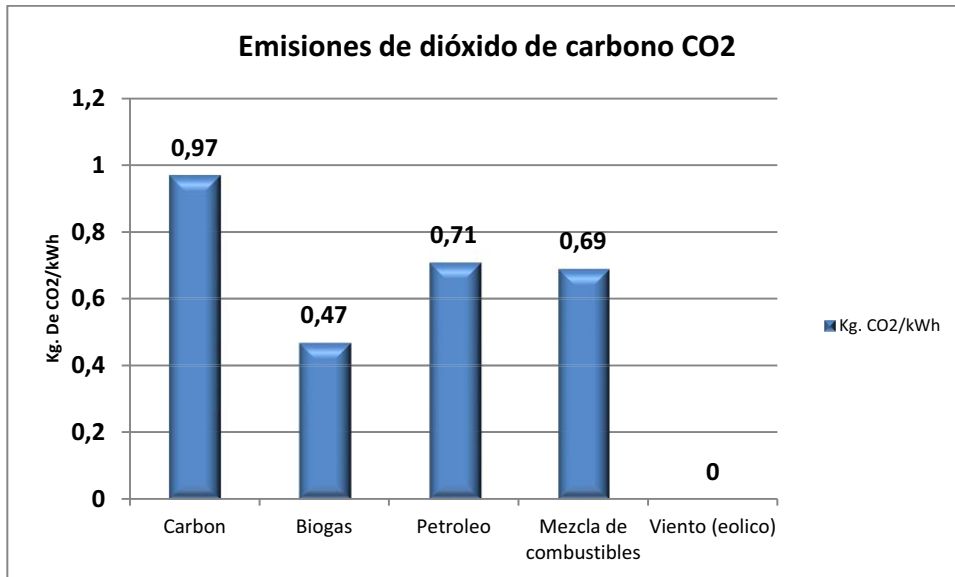
NOTA: El tamaño de planos deberán ser:

- Carta
- Oficio
- Doble carta

### **5.5. El proceso de captación de viento y el impacto al medio ambiente**

La energía eólica ofrece una de las opciones energéticas más económicas entre las nuevas fuentes de energía renovables para reducir la emisión de CO<sub>2</sub> para la generación de electricidad. Una turbina eólica moderna de 600 kilovatios en una localidad promedio reemplaza la emisión entre 20 000 y 30 000 toneladas de CO<sub>2</sub>, según el régimen de viento y el factor de capacidad, en su vida útil de 20 años, esto se puede observar en la figura 26.

Figura 26. **Emisiones de dióxido de carbono (CO2)**



Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM).

### 5.5.1. **Identificación de áreas que puedan ser impactadas directa o indirectamente**

Los terrenos en los cuales se implementará el proyecto actualmente se utilizan con fines agropecuarios, actividad que no se verá afectada por la implementación del proyecto, debido a la compatibilidad plena que existe entre el aprovechamiento energético del sitio y la actividad agropecuaria tradicionalmente desarrollada. Potencialmente el terreno podrá ser utilizado para cualquier actividad agrícola cuya altura de las especies vegetales que planten, sea menor de 5 metros, para evitar efectos en la rugosidad y en la turbulencia del sitio.

La implementación del proyecto no tiene considerado la tumba de área boscosa, sin embargo en algunas partes se ha considerado la eliminación de



especies arbóreas que fueron plantadas para efecto de sombra de café y como barrera viva diseñadas para evitar el efecto del viento sobre las plantaciones y viveros dentro de la finca. Básicamente se realizarán remodelaciones de tierra, ampliaciones y mejoramiento de caminos vecinales y carreteras para la introducción de maquinaria y equipo. Situación que constituirá prácticamente en el mantenimiento de las vías de acceso ya existentes.

Adicionalmente para cada turbina que se instale, se tendrá que construir un sistema de bases fundidas y sistema subterráneo y transmisión de energía y la red de radiocomunicación y control computarizado. Sin embargo, ninguna de las alteraciones mencionadas se considera perjudicial, especialmente al tomar en cuenta que los especialistas y desarrolladores potenciales del proyecto tienen experiencia en montaje de este tipo de sistemas bajo exigencias ambientales más críticas.

Considerando que el proyecto está ubicado en una zona que durante mucho tiempo ha sido dedicada a fines agrícolas y agropecuarios, no se prevén cambios significativos en la biodiversidad tradicional del ecosistema, especialmente porque la zona no es ruta de aves migratorias, no existen especies bajo peligro de extinción, no existen ningún biotopo en las proximidades, no hay reservas forestales ni parques naturales en el área, no hay lagos, lagunas ni ríos que están cerca, y no existe ningún ecosistema que pudiera considerarse sensible.

#### **5.5.2. Análisis del impacto que generarán las torres de captación eólica**

La energía eólica se considera una energía limpia, sin embargo, considerando el marco institucional y legal vigente (Ley del Medio Ambiente y

Ley General de Electricidad), establece que toda obra deberá realizar una evaluación ambiental de su implementación y su operación y mantenimiento. El objetivo de estas consideraciones es establecer los impactos positivos y negativos sobre el medio ambiente, de manera que puedan implementarse las medidas apropiadas para los impactos negativos. Se estarán considerando aspectos reversibles e irreversibles, directos e indirectos, inmediatos y de largo plazo y algunos impactos que puedan resultar accidentalmente.

### **5.5.3. Medidas de mitigación**

La industrialización ejerce presión sobre los recursos naturales, porque los necesita como materia prima. Esta presión puede disminuirlos e inclusive comprometer su capacidad de renovación de manera seria.

El desarrollo como proceso y el desarrollo industrial en particular se han considerado frecuentemente antagónicos a la conservación. En su sentido actual, la conservación es la gestión que permite que la industria obtenga un provecho mejor y permanente de los recursos naturales, es decir la conservación de la posibilidad de renovación y por lo tanto, es a la misma industria a quien le debe interesar e importar la conservación de los recursos, si se quiere que el desarrollo industrial sea sostenido.

Parece ser un procedimiento rutinario dentro de las actividades administrativas de una industria, determinar el costo en que incurre al producir un bien o servicio específico. Ahora bien, este costo no refleja que tiene la actividad sobre el ambiente y los recursos naturales.

En una economía de mercado, los efectos ambientales, en muchos casos, se consideran externalidades, es decir, son efectos externos que no tienen

importancia para el individuo o grupo que los crea. Sin embargo, por ejemplo, de utilizar bienes comunes (atmósfera, el agua) como lugares de desperdicios, afecta a los demás y puede costar hasta la muerte. Es importante resaltar que el grupo de mayor riesgo de los efectos industriales es el personal que trabaja en la industria.

Se necesita hacer que estos costos externos, sean internos, porque tarde o temprano, de una manera u otra, el daño que se hace ambiente, disminuye la cantidad de beneficios que cada ser humano tiene derecho a recibir de este, y puede perjudicarlo directamente.

La dificultad estriba en darle valor y costo a la naturaleza, porque se supone que la capacidad de ésta para producir beneficios es inagotable, lo cual no es cierto. El hombre es una criatura de aparición reciente en este planeta, y está usufructuando lo que la naturaleza construyó en miles de millones de años.

Los ecosistemas naturales tienen tres valores, el de mercado, y dos valores que no son de mercado; uno atribuible o asignable, el de los productos y servicios públicos como el agua, y otro intangible o no asignable, como sería el mantenimiento de estabilidad atmosférica, de la cual depende la calidad del aire que se respira. Se puede dar valor a la madera de un bosque, y expresar éste en términos monetarios. Pero valorar económicamente la función del bosque en la regulación del ciclo hidrológico es muy difícil.

El primero es fácil de calcular, pero el segundo resulta a veces imposible, se pueden determinar los costos de un sistema de tratamiento de agua que asegure que los vertidos de una industria no contaminen un río, sin embargo calcular los beneficios que se perdieron al contaminarse el río es complicado.



## **6. ESTUDIO ECONÓMICO**

### **6.1. Estructura económica-administrativa**

En un principio, la creación del Instituto Tecnológico Guatemala Sur -ITUGS-, se estableció ante la necesidad de definir un nuevo modelo pedagógico en Guatemala, que permitiera instaurar una alternativa de Educación superior basada en un prototipo innovador distinto al tradicional, como el detonador del desarrollo que el país requiere en estos momentos, el cual fue asignado al Ministerio de Educación.

El Gobierno de Guatemala, a través del Fondo Nacional para la Paz -FONAPAZ-, completó el estudio de factibilidad del proyecto, en el cual se identifica la problemática de la educación tecnológica en nuestro país, proponiendo y justificando la creación de un instituto con características tecnológicas que permita la superación integral de ciudadanos a través de capacitación tecnológica a nivel universitario.

Ante tales demandas, el presidente de la República, Ing. Álvaro Colom Caballeros, acordó el traslado del Instituto Tecnológico Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el propósito de abrir una nueva vía de formación que permita a los estudiantes egresados del citado instituto, en un tiempo menor integrarse a diversas actividades productivas, sin perder de vista en todo momento, la necesidad de una permanente reflexión para lograr la capacidad de adaptarse a un ambiente tecnológico en constante cambio, sea por su propia evolución o por la transformación del mismo. .

Así mismo, los ingresos que tenga el ITUGS serán proporcionados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siguiendo con el sistema de pago mínimo para los alumnos que allí estudien.

Además los alumnos de las carreras a nivel de pregrado en Ingeniería pueden utilizar la infraestructura y tecnología del ITUGS para poder recibir capacitaciones, laboratorios y seminarios de tecnología con el equipo que allí se tiene, el cual dicho sea de paso, es de primera categoría.

## 6.2. Consumo actual

El alto consumo de energía eléctrica, así como los precios de enero del 2010 a julio del 2011 en las instalaciones del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala-Sur ITUGS, se observa en la tabla XVI

Tabla XVI. **Precios de pago, consumo mensual y cargo en facturación total de energía eléctrica en ITUGS**

<b>P r e c i o s</b>													
Unidad Medida	ene-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11
Cargo fijo por Cliente (sin iva)	Q/usuario-mes	<b>194.432725</b>	197.23	198.444246	198.444246	198.444246	198.444246	<b>201.00473</b>	201.00473	201.00473	201.00473	201.00473	201.00473
Cargo x Energía (sin iva)	Q/KWh	<b>1.108883</b>	<b>1.738938</b>	1.377261	1.377261	1.377261	1.226784	1.201338	1.201338	1.352093	1.352093	1.352093	1.352093
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	Q/KWh	38.419642	<b>38.506687</b>	38.492975	38.492975	38.492975	38.492975	38.505167	38.505167	<b>36.796875</b>	<b>36.796875</b>	<b>36.796875</b>	<b>36.796875</b>
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	Q/KW	54.728852	<b>21.743202</b>	55.178886	55.178886	55.178886	55.178886	<b>55.60562</b>	55.60562	55.60562	55.60562	55.60562	55.60562

<b>C o n s u m o M e n s u a l</b>														
Concepto	Unidad Medida	ene-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11
Energía	kWh	<b>13300</b>	<b>12600</b>	12250	12250	10500	12250	12600	12250	14700	13650	12250	12600	11550
Potencia máxima	kWh	66.5	<b>70</b>	73.5	73.5	70	94.5	94.5	70	91	80.5	<b>70</b>	<b>66.5</b>	<b>70</b>
Potencia Contratada	KW	125	<b>125</b>	125	125	125	125	<b>125</b>	125	125	125	125	125	125

<b>T o t a l e s</b>														
Concepto	Unidad Medida	ene-10	jul-10	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11
Cargo fijo por Cliente (sin iva)	Q	<b>194.432725</b>	197.23	198.444246	198.444246	198.444246	198.444246	198.444246	<b>201.00473</b>	201.00473	201.00473	201.00473	201.00473	201.00473
Cargo x Energía (sin iva)	Q	<b>14641.7438</b>	<b>21910.6188</b>	16871.44725	16871.44725	14461.2405	15028.104	15457.4784	14716.3905	17659.6686	16398.2637	16563.13925	17036.3718	15616.67415
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	Q	2554.906193	<b>2695.46809</b>	2829.233663	2829.233663	2694.50825	3637.586138	3637.586138	2695.36169	3503.970197	3099.665944	<b>2575.78125</b>	<b>2446.992188</b>	<b>2575.78125</b>
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	Q	6841.1065	<b>2717.90024</b>	6897.36075	6897.36075	6897.36075	6897.33575	6897.33575	<b>6950.7025</b>	6950.7025	6950.7025	6950.7025	6950.7025	6950.7025
Pago total sin recargos	Q	24,232.19	27,521.22	26,796.49	26,796.49	24,251.55	25,761.47	26,190.84	24,563.46	28,315.35	26,649.64	26,290.63	26,635.07	25,344.16

Fuente: elaboración propia con información del ITUGS,

### **6.3. Estructura del sistema de consumo energético**

Las instalaciones de infraestructura civil del complejo cuenta con 6 edificios, que debido a la topografía del lugar se han distribuido en plataformas particulares para cada uno de ellos. La urbanización cuenta con calles de asfalto con un tratamiento primario, taludes revestidos, pozo mecánico con bomba sumergible, sistema de cloración y tanque de almacenamiento de agua potable. Además de zanjones perimetrales para el manejo de aguas pluviales.

Los edificios que componen el Complejo han tomado el nombre de su proyecto original, Módulo 5, Módulo 6, Módulo 8, Módulo 10 y Módulo 12 y están repartidos de la siguiente manera:

El Módulo 5, de dos niveles se compone de dos alas, en la planta baja se han ubicado algunos laboratorios de la carrera de Electrónica, tales como; Telecomunicaciones, Protocolo de redes, TCP/IP, Computación; además 4 salones de clase y bodega. En la planta alta se ubican 3 salones de clase, Sala de Reuniones para Catedráticos, Oficinas de Administración y Dirección, Coordinaciones, Control Académico, Tesorería y Servicios Sanitarios para Hombres y Mujeres en los dos niveles. Las oficinas ocupan lo que originalmente son salones de clase.

En cada salón de clase se pretende ubicar a 40 estudiantes, esto con el fin de seguir los lineamientos respectivos de acreditación.

El Módulo 7 fue construido para albergar los laboratorios de la carrera de Electrónica, los cuales son: Microcomputadoras, PCB, Circuitos Digitales, Circuitos Electrónicos, Control de sensores, Instalaciones Eléctricas, Máquinas eléctricas, guardalmacén y servicios sanitarios para hombres y mujeres.

El Módulo 6, de dos niveles, fue construido para laboratorios varios ubicados en la planta alta tales como AutoCAD, Física y Dibujo Técnico y laboratorios de la carrera de Producción Alimentaria los cuales son: Microbiología, Biología y Química; además cuenta con Servicios Sanitarios para Hombres y Mujeres en los dos niveles y Duchas de Emergencia en el primer nivel.

En el Módulo 8 se compone de dos alas y se encuentra el equipo necesario para realizar los laboratorios de las carreras de Procesos de Manufactura y de Metal Mecánica. Además del equipo cuenta con varios ambientes de bodegas, servicios sanitarios de hombres y mujeres y duchas de emergencia.

El Módulo 10 cuenta con equipo para realizar los laboratorios de aire acondicionado y refrigeración. Este edificio también está compuesto por dos aulas cuenta con dos oficinas, ambientes para almacenar herramienta, 2 oficinas, ducha de emergencia y servicios sanitarios para hombres y mujeres.

En el Módulo 12 está dividido por 3 ambientes, en donde se encuentran ubicados los talleres para realizar las prácticas de laboratorio de la carrera de Mecánica Automotriz y al igual que los demás edificios cuenta con oficina, bodega, ducha de emergencia y servicios sanitarios para hombres y mujeres.

#### **6.4. Análisis de información**

El consumo actual es considerado óptimo para la instalación de un sistema de energía eólica ya que se tienen altos consumos de energía en los meses de enero, febrero, marzo y abril, lo cual coincide con los meses de alto



nivel de viento en el área, sin embargo en el mes de octubre que es un mes relativamente alto en viento, el consumo comienza a disminuir.

Por otro lado se hace recalcar fuertemente que gran parte del pago por consumo de energía eléctrica es por un alto nivel penalización y sobrepasar el nivel de potencia contrata lo cual hace ver un nivel ineficiente del sistema de consumo del instituto.

#### **6.5. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**

El mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un programa de incentivos económicos establecido por Naciones Unidas (Mediante la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático CMNUCC, y el Protocolo de Kioto del mismo órgano), para promover nuevas inversiones en proyectos que reduzcan emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El sistema está creando un mercado global de demanda y oferta para el servicio certificado de reducciones de GEI. El protocolo de Kioto busca enfrentar el problema del cambio climático generado por la interferencia humana en las dinámicas climáticas globales con el objetivo de tratar de estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los proyectos MDL deben ser formulados, revisados, y aprobados de acuerdo con la reglamentación establecida por la Junta Ejecutiva del MDL, en acuerdo con las modalidades y procedimiento del MDL. Se han establecido una serie de criterios de registro para este tipo de proyectos entre los que están la elegibilidad, la adicionalidad; donde cada proyecto debe demostrar que no se hubiese implementado en la ausencia del incentivo del MDL así como diversas documentaciones estandarizadas que deben ser usadas para su valoración.

Las emisiones reducidas por nuevas inversiones bajo el marco del MDL deben ser monitoreadas cuidadosamente y reportadas con periodicidad a la Junta Ejecutiva del MDL, para que las reducciones sean certificadas.

Cada Certificado de Reducción de Emisiones (CER) representa la mitigación de una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (dado que el Protocolo de Kioto busca controlar la emisión de 6 GEI, cada uno con un potencial de calentamiento global). El valor general de los CER's es determinado por la demanda y oferta en el mercado internacional, y el precio depende de la estrategia de presentación y negociación de los CER's. Un proyecto debidamente acreditado ante el MDL puede aspirar a generar CER's por períodos de hasta 21 años, en función de su selección de períodos de acreditación.

## **7. ESTUDIO FINANCIERO**

### **7.1. Inversión inicial**

El principal componente de un parque eólico es suministro y montaje de los aerogeneradores, el cual representa un 73 por ciento de los costes de inversión de instalación, el resto se dividen en 7,5 por ciento obra civil, 11 por ciento de conexión y el resto en gastos varios.

En el inicio de explotación del parqueo eólico se debe enfrentar a un costo operativo base, un 20 por ciento del valor máximo que puede recibirse de la venta del producto.

De estos hay un costo de gestión de 45 por ciento divididos entre gestión y administración con 14 por ciento, seguros e impuestos 18 por ciento, instalación y mantenimiento 3 por ciento y alquileres con 10 por ciento; por otro lado los costos variables de operación y mantenimiento representan el 55 por ciento, por lo que un factor determinante en la decisión de inversión de un parque eólico es el número de horas de funcionamiento.

Se necesitan una inversión inicial de US\$ 2 854,19 al tipo de cambio promedio del 2012 de Q 7,79, representa la cantidad de Q.22 234,12 para una producción mensual entre 85 y 115 kilovatios hora, lo cual en promedio son 100 kilovatios hora.

## 7.2. Costo de operación

En esta etapa, se propone describir los métodos actuales de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, como son la tasa interna de rendimiento y el valor presente neto, sus ventajas y limitaciones de aplicación; el nivel de detalle en la información existente nos permite establecer un análisis económico aproximado para la implementación del proyecto.

Se ha cubierto una amplia serie de rubros y elementos que serán necesarios, el análisis efectuado está fundamentado en consultas con proveedores de equipo y personas con conocimiento del tema, se considerarán la disponibilidad de materiales, recursos humanos y grados de dificultad en el punto de emplazamiento a que se deberá hacer frente durante la etapa de instalación.

Tabla XVII. **Costo de equipos**

Unidades	Concepto	Precios US\$
2	Batería Trojan T-105 Plus 6v 225 AH	643.00
1	Aerogenerador Air-X	921.50
1	Inversor 12GFCI 1800	1,152.00
1	Torre 13,7 mts.,y sus accesorios	250.00
	Costo Total	<b>2,966.5</b>

Fuente: elaboración propia,

Considerando que la universidad aún está exenta de impuestos, al final nos queda US\$ 2 535,47 por ser productos afectos a la Ley de Incentivos Fiscales para la generación de energías renovables.

Tabla XVIII. **Costos de accesorios y complementos**

<b>Rubro</b>	<b>Precios US\$</b>
Accesorios para monitoreo y control	66.00
Red de tierras	16.50
Protecciones	15.40
Transporte y suministros	99.00
Tubería	11.00
Cableado	44.00
Obra civil	187.00
Diseño	33.00
<b>Total</b>	<b>372.90</b>

Fuente: elaboración propia.

Menos los impuestos tenemos un valor de US\$ 318,72 realizando las cuentas totales se necesitan US\$ 2 854,19 al tipo de cambio promedio del 2012 de Q 7,79, representa la cantidad de Q.22 234,12 para una producción entre 85 y 115 kilovatios hora, lo cual en promedio son 100 kilovatios hora.

Este valor total de Q22 234,12 representa la inversión que se tendrá que realizar para poner en operación el sistema.

### **7.3. Análisis en el tiempo**

Considerando que una nave industrial (taller), que representa un centro en donde se utilizan 8 lámparas de 50 watts de potencia cada uno, lo cual hacen un total de consumo de 400 watts, durante 20 horas al día, en los 30 días del mes hacen un total de 240 kilovatios hora, estas lámparas iluminaran una parte del módulo 5, en la planta alta se ubican 3 salones de clase, sala de reuniones para catedráticos, oficinas de administración y dirección, coordinaciones, Control Académico, Tesorería y servicios sanitarios para hombres y mujeres en los dos niveles. Las oficinas ocupan lo que originalmente son salones de clase

De este consumo mensual se toma en cuenta que en promedio el precio pagado por kilovatio hora durante el período de análisis fue de Q/kWh 1,31, lo cual hace ver que mensualmente se tendrían ahorrados mensualmente Q.314,40 en un año esto representa la cantidad de Q.3 772,80.

Según datos proporcionados por el proveedor del equipo, este no requiere de mantenimiento y tiene un tiempo de vida promedio de 20 años.

Además considerando que continuamente se estarán observando el comportamiento del equipo para mostrárselo a los alumnos, ellos mismos pueden estar dándole mantenimiento preventivo al equipo.

### **7.4. Punto de equilibrio**

Se considera una tasa de descuento del 10 por ciento para aplicarlo a la corriente particular de descuento por no pago que se proyectan a percibir, además se ha contemplado que el proyecto sea financiado en su totalidad mediante un préstamo bancario que asciende a la cantidad de Q22 234,12, por

lo cual no se considera porcentaje alguno de capital propio ni donaciones, el período de pago estimado para el mismo es de 10 años a una tasa de interés de 10 por ciento.

A continuación se presenta los primeros 10 años estimados de funcionamiento del estudio.

Los descuentos de energía por NO PAGO anual, fueron calculados en función del precio que la institución ha pagado en promedio mensual durante los dos últimos años.

**Tabla XIX. Cálculos del VAN y TIR para PE**

**CÁLCULO DEL VAN, TIR Y PERÍODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN EN BASE A CAPITAL INVERTIDO Y DESCUENTOS DE ENERGÍA DE CONSUMO**

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Capital invertido	Q 22,234.00										
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80
Tasa de descuento aplicable para calcular el VAN	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Factor de descuento a esa tasa	1.0000	1.1000	1.2100	1.3310	1.4641	1.6105	1.7716	1.9487	2.1436	2.3579	2.5937
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL descontados	Q -	Q 3,429.82	Q 3,118.02	Q 2,834.56	Q 2,576.87	Q 2,342.61	Q 2,129.65	Q 1,936.04	Q 1,760.04	Q 1,600.04	Q 1,454.58
VA de los dividendos	Q 23,182.22										
<b>VAN de la inversión</b>	<b>Q 948.22</b>										

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Esquema de la inversión	-22,234	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773
<b>TIR de la inversión</b>	<b>11%</b>										

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL Acumulados (A)	Q -	Q 3,772.80	Q 7,545.60	Q 11,318.40	Q 15,091.20	Q 18,864.00	Q 22,636.80	Q 26,409.60	Q 30,182.40	Q 33,955.20	Q 37,728.00
Capital invertido (B)	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00	Q 22,234.00
A - B	Q (22,234.00)	Q (18,461.20)	Q (14,688.40)	Q (10,915.60)	Q (7,142.80)	Q (3,370.00)	Q 402.80	Q 4,175.60	Q 7,948.40	Q 11,721.20	Q 15,494.00
<b>Período de retorno de la inversión</b>	<b>Años</b>										<b>5</b>
<b>y</b>	<b>Meses</b>										<b>11</b>

Fuente: elaboración propia con información del ITUGS,

Según los datos presentados, se puede observar que el VAN de la inversión es de Q.948,22 para una tasa de descuento del 10 por ciento, así

mismo la Tasa Interna de Retorno TIR de la inversión que se obtuvo fue de 11 por ciento es decir (11% > 10% ) lo cual hace ver que el proyecto es rentable.

Además se obtenido un tiempo de recuperación de la inversión de 5 años con 11 meses, considerando que el préstamo que se adquiriría es para 10 años, se tiene un tiempo de riesgo de 4 años y 1 mes, por si el precio de la energía variará considerablemente.

#### **7.5. Análisis de sensibilidad**

Si se considera que en el momento de la inversión no se puede recurrir a exención fiscal por concepto de mercadería importada para uso de generación de energía renovable se realiza el análisis, observando que la TIR de la inversión disminuye 4 puntos porcentuales, lo cual hacer que el proyecto no sea rentable desde el punto de vista económico, sin embargo hay que tomar en cuenta que el objetivo del proyecto es para apoyar en el desarrollo de capital humano para la transmisión de conocimientos de nueva tecnología para la industria guatemalteca en el campo energético, lo cual retribuye a una mejor calidad del uso de los recursos del país.



Tabla XX. **Análisis de sensibilidad 1**

**CÁLCULO DEL VAN, TIR Y PERÍODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN EN BASE A CAPITAL INVERTIDO Y DESCUENTOS DE ENERGÍA DE CONSUMO**

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Capital invertido	Q 26,013.93										
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80
Tasa de descuento aplicable para calcular el VAN	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Factor de descuento a esa tasa	1.0000	1.1000	1.2100	1.3310	1.4641	1.6105	1.7716	1.9487	2.1436	2.3579	2.5937
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL descontados	Q -	Q 3,429.82	Q 3,118.02	Q 2,834.56	Q 2,576.87	Q 2,342.61	Q 2,129.65	Q 1,936.04	Q 1,760.04	Q 1,600.04	Q 1,454.58
VA de los dividendos	Q 23,182.22										
<b>VAN de la inversión</b>	<b>Q (2,831.71)</b>										

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Esquema de la inversión	-26,014	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773	3,773
<b>TIR de la inversión</b>	<b>7%</b>										

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL Acumulados (A)	Q -	Q 3,772.80	Q 7,545.60	Q 11,318.40	Q 15,091.20	Q 18,864.00	Q 22,636.80	Q 26,409.60	Q 30,182.40	Q 33,955.20	Q 37,728.00	
Capital invertido (B)	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	
A - B	Q (26,013.93)	Q (22,241.13)	Q (18,468.33)	Q (14,695.53)	Q (10,922.73)	Q (7,149.93)	Q (3,377.13)	Q 395.67	Q 4,168.47	Q 7,941.27	Q 11,714.07	
<b>Periodo de retorno de la inversión</b>										<b>Años</b>	<b>6</b>	
										<b>y</b>	<b>Meses</b>	<b>11</b>

Fuente: elaboración propia con información del ITUGS,

De la misma forma se observa que el VAN es negativa con un valor de Q.2 831,71 lo cual confirma aún más la no rentabilidad económica del proyecto. Sin embargo se tiene un retorno de la inversión en aproximadamente 7 años.

El otro escenario posible, es que se considere que el precio de la energía subirá 1 por ciento cada año, considerando que la matriz energética aun continúe dependiente de los derivados del petróleo lo cual hace que el precio de la energía aumente de la misma manera.

Tabla XXI. Análisis de sensibilidad 2

CÁLCULO DEL VAN, TIR Y PERÍODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN EN BASE A CAPITAL INVERTIDO Y DESCUENTOS DE ENERGÍA DE CONSUMO

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Capital invertido	Q 26,013.93										
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,810.53	Q 3,848.63	Q 3,887.12	Q 3,925.99	Q 3,965.25	Q 4,004.90	Q 4,044.95	Q 4,085.40	Q 4,126.26	Q 4,167.52
Tasa de descuento aplicable para calcular el VAN	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Factor de descuento a esa tasa	1.0000	1.0800	1.1664	1.2597	1.3605	1.4693	1.5869	1.7138	1.8509	1.9990	2.1589
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL, descontados	Q -	Q 3,528.27	Q 3,299.58	Q 3,085.72	Q 2,885.72	Q 2,698.68	Q 2,523.77	Q 2,360.19	Q 2,207.22	Q 2,064.16	Q 1,930.37
VA de los dividendos	Q 26,583.67										
<b>VAN de la inversión</b>	<b>Q 569.74</b>										

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Esquema de la inversión	-26,014	3,811	3,849	3,887	3,926	3,965	4,005	4,045	4,085	4,126	4,168
<b>TIR de la inversión</b>		<b>8%</b>									

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL	Q -	Q 3,810.53	Q 3,848.63	Q 3,887.12	Q 3,925.99	Q 3,965.25	Q 4,004.90	Q 4,044.95	Q 4,085.40	Q 4,126.26	Q 4,167.52
Descuentos de Energía por NO PAGO ANUAL Acumulados (A)	Q -	Q 3,810.53	Q 7,659.16	Q 11,546.28	Q 15,472.27	Q 19,437.52	Q 23,442.43	Q 27,487.38	Q 31,572.78	Q 35,699.04	Q 39,866.55
Capital invertido (B)	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93	Q 26,013.93
A - B	Q (26,013.93)	Q (22,203.40)	Q (18,354.77)	Q (14,467.65)	Q (10,541.66)	Q (6,576.41)	Q (2,571.50)	Q 1,473.45	Q 5,558.85	Q 9,685.11	Q 13,652.62
Período de retorno de la inversión											
y											
Años											6
Meses											8

Fuente: elaboración propia con información del ITUGS,

Por otro lado se puede considerar que la TIR del 8 por ciento se utilice para calcular el Valor Actual Neto de la Inversión lo que supondría un VAN positivo de Q.569,74 haciendo rentable económicamente el proyecto y disminuyendo el período de retorno de la inversión en 3 meses con respecto al escenario anterior.

## 7.6. Fuente y forma de financiamiento

Se realizó un análisis de sensibilidad, considerando que la deuda no es factible poder pagarla los acumulados del servicio de la deuda, en los primeros 7 años, por lo que se trata de hacer un balance de deuda acumulada con los intereses por el año rezagado, sumándola a la deuda de cada año y restándole los ahorros por consumo.

De esta manera la deuda es posible poder pagarla en los primeros 10 años de trabajo del sistema eólico.

Tabla XXII. Cálculo del servicio de la deuda

CÁLCULO DEL SERVICIO DE LA DEUDA											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión Inicial	Q 22,234.00										
Porcentaje que se financia con recursos propios	0%										
Porcentaje que se financia con deuda	100%										
Importe inicial de la deuda	Q 22,234.00										
Plazo de amortización (años)	10										
Principal a amortizar anualmente		Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40	Q 2,223.40
Importe de la deuda a final de cada año	Q 22,234.00	Q 20,010.60	Q 17,787.20	Q 15,563.80	Q 13,340.40	Q 11,117.00	Q 8,893.60	Q 6,670.20	Q 4,446.80	Q 2,223.40	Q -
Importe medio de la deuda en cada año		Q 21,122.30	Q 18,898.90	Q 16,675.50	Q 14,452.10	Q 12,228.70	Q 10,005.30	Q 7,781.90	Q 5,558.50	Q 3,335.10	Q 1,111.70
Tasa de Interés Líder	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%	5.72%
Tasa de Inflación	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%	4.50%
Tipo de interés de la deuda	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%	10.22%
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Interés anual		Q 2,159.54	Q 1,932.22	Q 1,704.90	Q 1,477.58	Q 1,250.26	Q 1,022.94	Q 795.62	Q 568.30	Q 340.98	Q 113.66
Servicio a la deuda anual (Interés + principal)		Q 4,382.94	Q 4,155.62	Q 3,928.30	Q 3,700.98	Q 3,473.66	Q 3,246.34	Q 3,019.02	Q 2,791.70	Q 2,564.38	Q 2,337.06
Ingresos por generación (descuentos de facturación)	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80	Q 3,772.80
Deuda Acumulada de Año Anterior con Intereses	Q -	Q 671.16	Q 1,159.38	Q 1,446.37	Q 1,512.01	Q 1,334.16	Q 888.47	Q 148.16	Q (916.23)	Q (2,337.12)	Q (2,337.12)
Deuda Acumulada de año anterior sin intereses	Q 610.14	Q 1,053.98	Q 1,314.88	Q 1,374.55	Q 1,212.87	Q 807.70	Q 134.69	Q (832.94)	Q (2,124.65)	Q (3,772.86)	Q (3,772.86)
Servicio de la deuda anual Real ( PAGO ANUAL)		Q 4,382.94	Q 4,826.78	Q 5,087.68	Q 5,147.35	Q 4,985.67	Q 4,580.50	Q 3,907.49	Q 2,939.86	Q 1,646.15	Q (0.06)
									Total de Deuda a pagar	Q 37,506.39	

Fuente: elaboración propia con información del ITUGS,

En el año uno únicamente se pueden pagar los Q3 772,80 considerando que el servicio de deuda de dicho año es Q.4 382,94 se considera una acumulación de deuda Q671,16 así como el servicio normal de deuda de Q4 155,62 por lo que el acumulado real del año dos es de Q4 826,78. De esta manera se podría pagar la deuda en un término de 10 años, pero ya en el año 9 no se tendría deuda acumulada.

## **7.7. Evaluación de riesgos**

Existen diversos riesgos que se deberían de tomar en cuenta en el proceso de todo proyecto, sin embargo en el caso de este proyecto de energía eólica, los riesgos son mínimos ya que la posibilidad de que el proyecto tenga inconvenientes están dados por información adversa, es decir que la información proporcionada haya cambiado del 2007 para este año, ya que en el trayecto del flujo del aire.

Existe una modificación debido a que en el kilómetro 34 se ha venido extrayendo arena de dos cerros, que funcionan como parales de dirección del viento, y debido a que estos cerros prácticamente han sido escarbados la dirección del viento ha cambiado de dirección por lo que esta se ha dispersado en otras direcciones, a pesar de ello aún es posible poder trabajar con la información disponible, ya que el sistema de energía eólica que se pretende instalar funciona a partir de 3,5 metros por segundo lo cual hará que el sistema funcione a pesar de los inconvenientes.

## CONCLUSIONES

1. Los datos obtenidos sobre el sitio son determinantes para indicar que es factible la implementación de un sistema de energía eólica, ya que es posible la generación de 100 kilovatios hora durante cada mes, para satisfacer parcialmente la demanda mensual promedio de 12 519 kilovatios hora de energía eléctrica que se tiene en el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
2. El potencial eólico del sitio ITUGS es de 8,5 m/s con dirección noroeste, esto es consistente con la disponibilidad de equipos en el mercado para la implementación de sistemas de energía eólica para la suministración de energía eólica.
3. El ITUGS es un ente de transmisión de conocimiento en el área de la ciencia y la tecnología, con lo cual la instalación de este sistema de energía, hace cumplir los objetivos de la institución en un área de alto crecimiento económico.
4. Considerando que la institución tiene costos muy altos en el consumo de energía eléctrica entre 24 y 28 mil quetzales mensuales, se reducirán Q.3 772,80 anualmente, en términos reales durante 20 años, sin ningún tipo de penalización. Así mismo, se aprovecharía el sistema para fines académicos en los alumnos el ITUGS, generando de esta manera el inicio en la investigación y desarrollo en el campo de energías limpias para proyectarlo a nivel nacional.

5. La instalación se hará en la parte más alta del ITUGS en el sur oeste el cual es un área sin aprovechamiento pero con alto nivel de velocidad del viento con un promedio 8,5 metros por segundo. con un sistema de energía eólica que requiere un mínimo de 4 metros por segundo para operar y que requiere una inversión total alrededor de 22 mil quetzales retornables en menos de 10 años, aprovechando la energía eólica que abunda en el lugar, el cual no afectaría el ambiente ya que el equipo genera bajos niveles de ruido y mínima vibración así como el reducido tamaño de sus aspas lo que hace que el equipo puede ser maniobrado por los alumnos del ITUGS para realizar las tareas de instalación, operación y seguimiento del mismo, lo que además redundaría en que el equipo es compatible con el ambiente porque no genere sombra y es autosuficiente ya que no requiere mantenimiento.
  
6. La inversión que se hace inicialmente se recuperará con los descuentos de consumo de energía adquiridos, lo cual se hace sostenible con un préstamo al precio de mercado, a pesar de posibles cambios en el mercado de dinero en 6 años aproximadamente. Así mismo la inversión es recuperable en este tiempo, por lo que posteriormente se tienen beneficios directos, ya que los costos han sido cubiertos en su totalidad.

## RECOMENDACIONES

1. Para la instalación de aerogeneradores de alta capacidad se requiere de inversiones muy fuertes por lo que es recomendable la instalación de equipos de medición de temperatura, velocidad y dirección de viento durante un mínimo de 3 años para correlacionar la información proporcionada por las diversas instituciones especializadas.
2. Para poder obtener resultados confiables se hace necesario poder realizar mediciones durante un tiempo promedio de 3 años.
3. Para financiar el proyecto de instalación de equipos de medición se puede realizar a través del apoyo del sector privado para la comprar los equipos de medición, retornándoles capital humano especializado en el aprovechamiento de energías renovables.
4. Otra forma de financiar el proyecto es a través de instituciones financiera que fomentan la producción de electricidad a través energías renovables





## BIBLIOGRAFÍA

1. FLORES CASTRO, Mario Adrián. *Administración de operaciones, un modelo integral*. México: McGraw-Hill, 1997. 253 p.
2. FRANCO ESCOBEDO, Oscar Stuardo. *Factibilidad del uso de la energía eólica y solar en sistemas híbridos de energía*. Trabajo de graduación de Ingeniería eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 118 p.
3. GARCIA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, medición del trabajo*. México, D.F.: McGraw-Hill, 1998. 287 p.
4. GONZÁLEZ RUIZ, Lucinda; ESPRIU TORRES, José. *Instructivo teórico-práctico de análisis sistemático de la producción*. México, D.F.: McGraw-Hill, 2001. 91 p.
5. Oficina Internacional del Trabajo. *Introducción al estudio del trabajo*. 4a edición. México D.F.: Noriega-Limusa, 1996. 495 p.
6. OSSENBACH SAUTER, Manuel. *Guía para el desarrollo para proyectos de energía renovable en Guatemala*. Tegucigalpa Honduras: Banco centroamericano de integración económica, 2009. 88 p.
7. PALMA CAJAS, Ana Carolina. *Estudio de factibilidad del proyecto de micro hidroeléctrica para la comunidad de Chel, San Gaspar Chajul, el Quiché*. Trabajo de graduación de Ingeniería industrial.

Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería,  
2005. 115 p.

8. TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. 4a Edición. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 61-96 p.
9. VASSAUX CASTRO, Luis Pedro. *Estudio técnico de factibilidad de generación eléctrica por medio de aerogeneradores en el municipio de Puerto Barrios, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ingeniero Mecánico. Universidad de san Carlos de Guatemala, facultad de ingeniería, 2004. 119 p.

## APÉNDICES

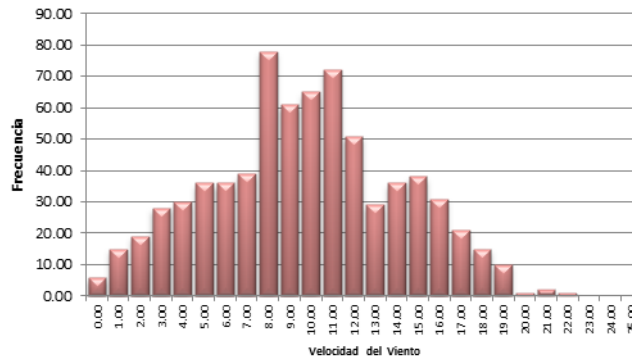
Los datos que se obtienen de las mediciones de viento son de cada 10 minutos, dicha información se procesó para sacar el promedio de velocidad por hora, y así poder obtener un resumen, según la tabla presentada a continuación:

### Velocidad del viento

<b>Velocidades (mts/seg)</b>	<b>Frecuencia</b>
0,00	6,00
1,00	15,00
2,00	19,00
3,00	28,00
4,00	30,00
5,00	36,00
6,00	36,00
7,00	39,00
8,00	78,00
9,00	61,00
10,00	65,00
11,00	72,00
12,00	51,00
13,00	29,00
14,00	36,00
15,00	38,00
16,00	31,00
17,00	21,00
18,00	15,00
19,00	10,00
20,00	1,00
21,00	2,00
22,00	1,00
23,00	0,00
24,00	0,00
25,00	0,00
<b>Sumatoria</b>	<b>720,00</b>

## Gráfico de distribución de frecuencias

Distribución de Frecuencias  
de la velocidad del viento



La información que se presenta en las siguientes tablas es para considerar en un futuro la instalación de un parque eólico formal, a través de aerogeneradores de alto nivel de captación de aire.

### Tabla total para Aerogenerador 1,5 Sle

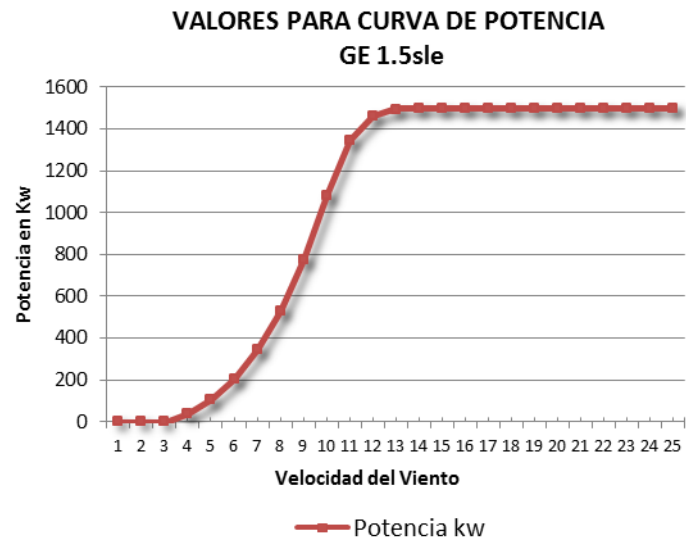
Velocidad	Horas en un mes 720	CURVA DE POTENCIA GE 1,5 Sle	GENERACION
m/s	Hrs	Powerkw/GE1.5se	kwh/mes
1	15	0	0
2	19	0	0
3	28	0	0
4	30	36	1080
5	36	104	3744
6	36	205	7380
7	39	344	13416
8	78	528	41184
9	61	774	47214
10	65	1079	70135
11	72	1342	96624
12	51	1460	74460
13	29	1494	43326
14	36	1500	54000
15	38	1500	57000
16	31	1500	46500
17	21	1500	31500
18	15	1500	22500
19	10	1500	15000
20	1	1500	1500
21	2	1500	3000
22	1	1500	1500
23	0	1500	0
24	0	1500	0
25	0	1500	0

Total KWh	631063
Total Teórico	1071000
Factor de Planta	0,589227824

### Tabla para aerogenerador 1,5 Sle

VALORES PARA CURVA DE POTENCIA GE 1,5 Sle		
m/s	Potencia kw	Energia (kwh)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	36	1080
5	104	3744
6	205	7380
7	344	13416
8	528	41184
9	774	47214
10	1079	70135
11	1342	96624
12	1460	74460
13	1494	43326
14	1500	54000
15	1500	57000
16	1500	46500
17	1500	31500
18	1500	22500
19	1500	15000
20	1500	1500
21	1500	3000
22	1500	1500
23	1500	0
24	1500	0
25	1500	0
	Total KWh	631,063
	Total Teórico	1080000
	Factor de Planta	58%

## Gráfico de curva de potencia para aerogenerador 1,5 Sle

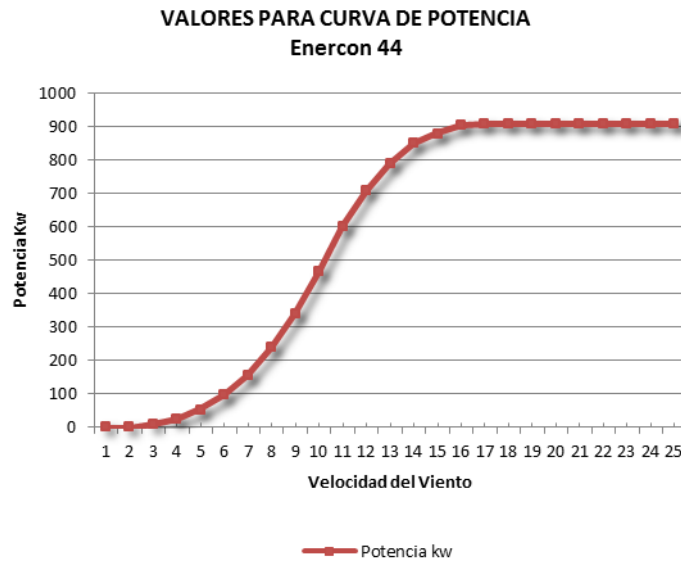


### Tabla para aerogenerador Enercon 44

VALORES PARA CURVA DE POTENCIA Enercon 44		
m/s	Potencia kw	Energia (kwh)
1	0	0
2	1.4	26.6
3	8	224
4	25	735
5	53	1908
6	96	3456
7	156	6084
8	238	18564
9	340	20740
10	466	30290
11	600	43200
12	710	36210
13	790	22910
14	850	30600
15	880	33440
16	905	28055
17	910	19110
18	910	13650
19	910	9100
20	910	910
21	910	1820
22	910	910
23	910	0
24	910	0
25	910	0
	Total KWh	321,943
	Total Teórico	655200
	Factor de Planta	49%



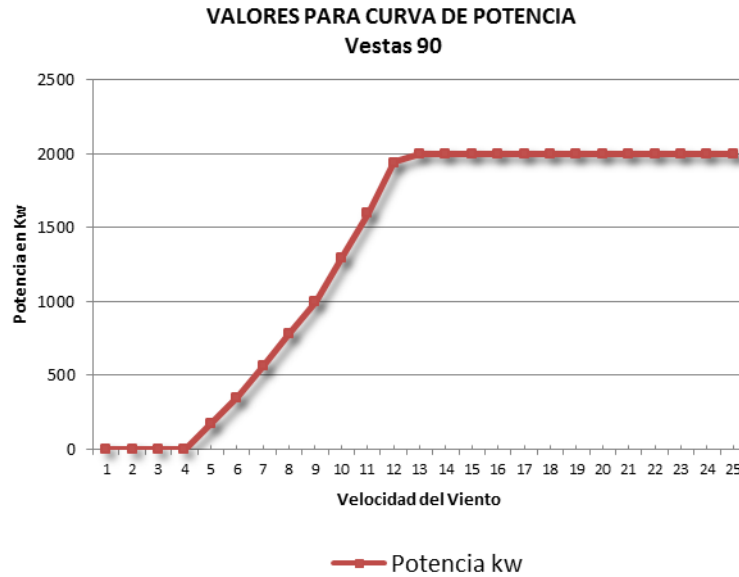
## Gráfico de curva de potencia para aerogenerador Enercon 44



### Tabla para aerogenerador Vestas 90

VALORES PARA CURVA DE POTENCIA Vestas 90		
m/s	Potencia kw	Energia (kwh)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	170	6120
6	350	12600
7	560	21840
8	780	60840
9	1000	61000
10	1295	84175
11	1600	115200
12	1940	98940
13	2000	58000
14	2000	72000
15	2000	76000
16	2000	62000
17	2000	42000
18	2000	30000
19	2000	20000
20	2000	2000
21	2000	4000
22	2000	2000
23	2000	0
24	2000	0
25	2000	0
	Total KWh	828,715
	Total Teórico	1440000
	Factor de Planta	58%

## Gráfico de curva de potencia para aerogenerador Vestas 90



## Consumo de energia eléctrica de ITUGS

### ene-10

	precios		consumos		importe
Cargo fijo por Cliente (sin iva)	194.432725	Q/usuario-mes			Q194.43
Cargo x Energía (sin iva)	1.100883	Q/kWh	13300	kWh	Q14,641.74
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.419642	Q/kWh	66,5	kW	Q2,554.91
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	54.728852	Q/KW	125	kW	Q6,841.11
Total Cargo (sin iva)					Q24,232.19
Total Cargo (con iva)					<b>Q27,140.05</b>
Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva)					<b>Q7,304.01</b>
					<b>Q34,444.06</b>

### jul-10

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	197.23	Q/usuario-mes			Q197.23
Cargo x Energía (sin iva)	1.570706	Q/kWh	12600	kWh	Q19,790.90
	0.168232	Q/kWh	12600	kW	Q2,119.72
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.506687	Q/KW	70	kW	Q2,695.47
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	21.743202	Q/KW	125	kW	Q2,717.90
Total Cargo (sin iva)					Q27,521.22

Total Cargo (con iva) **Q30,823.76**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q10,153.61**

Q40,977.37

### ago-10

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	198.444246	Q/usuario-mes			Q198.44
Cargo x Energía (sin iva)	1.377261	Q/kWh	12250	kWh	Q16,871.45
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.492975	Q/kWh	73,5	kW	Q2,829.23
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.178886	Q/KW	125	kW	Q6,897.36
Total Cargo (sin iva)					Q26,796.49

Total Cargo (con iva) **Q30,012.06**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q9,496.98**

Q39,509.04

### sep-10

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	198.444246	Q/usuario-mes			Q198.44
Cargo x Energía (sin iva)	1.377261	Q/kWh	12250	kWh	Q16,871.45
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.492975	Q/kWh	73,5	kW	Q2,829.23
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.178886	Q/KW	125	kW	Q6,897.36
Total Cargo (sin iva)					Q26,796.49

Total Cargo (con iva) **Q30,012.06**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q9,496.98**

Q39,509.04

**oct-10**

**precios** **consumos** **importe**

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	198.444246	Q/usuario-mes			Q198.44
Cargo x Energía (sin iva)	1.377261	Q/kWh	10500	kWh	Q14,461.24
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.492975	Q/kWh	70	kW	Q2,694.51
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.178886	Q/KW	125	kW	Q6,897.36
Total Cargo (sin iva)					Q24,251.55

Total Cargo (con iva) **Q27,161.74**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q9,528.46**

Q36,690.20

**nov-10**

**precios** **consumos** **importe**

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	198.444246	Q/usuario-mes			Q198.44
Cargo x Energía (sin iva)	1.226784	Q/kWh	12250	kWh	Q15,028.10
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.492975	Q/kWh	94,5	kW	Q3,637.59
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.178686	Q/KW	125	kW	Q6,897.34
Total Cargo (sin iva)					Q25,761.47

Total Cargo (con iva) **Q28,852.85**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q7,693.04**

Q36,545.89

**dic-10**

**precios** **consumos** **importe**

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	198.444246	Q/usuario-mes			Q198.44
Cargo x Energía (sin iva)	1.226784	Q/kWh	12600	kWh	Q15,457.48
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.492975	Q/kWh	94,5	kW	Q3,637.59
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.178686	Q/KW	125	kW	Q6,897.34
Total Cargo (sin iva)					Q26,190.84

Total Cargo (con iva) **Q29,333.75**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q8,963.43**

Q38,297.18

### feb-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.201338	Q/kWh	12250	kWh	Q14,716.39
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.505167	Q/kWh	70	kW	Q2,695.36
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q24,563.46

Total Cargo (con iva) **Q27,511.07**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q7,571.85**

Q35,082.92

### mar-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.201338	Q/kWh	14700	kWh	Q17,659.67
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.505167	Q/kWh	91	kW	Q3,503.97
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q28,315.35

Total Cargo (con iva) **Q31,713.19**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q8,086.13**

Q39,799.32

### abr-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.201338	Q/kWh	13650	kWh	Q16,398.26
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	38.505167	Q/kWh	80,5	kW	Q3,099.67
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q26,649.64

Total Cargo (con iva) **Q29,847.59**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q7,980.29**

Q37,827.88

### may-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.352093	Q/kWh	12250	kWh	Q16,563.14
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	36.796875	Q/kWh	70	kW	Q2,575.78
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q26,290.63

Total Cargo (con iva) **Q29,445.50**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q8,108.65**

**Q37,554.15**

### jun-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.352093	Q/kWh	12600	kWh	Q17,036.37
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	36.796875	Q/kWh	66,5	kW	Q2,446.99
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q26,635.07

Total Cargo (con iva) **Q29,831.28**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q7,377.85**

**Q37,209.13**

### jul-11

precios consumos importe

Cargo fijo por Cliente (sin iva)	201.00473	Q/usuario-mes			Q201.00
Cargo x Energía (sin iva)	1.352093	Q/kWh	11550	kWh	Q15,616.67
Cargo x Potencia máxima (sin iva)	36.796875	Q/kWh	70	kW	Q2,575.78
Cargo x Potencia Contratada (sin iva)	55.60562	Q/KW	125	kW	Q6,950.70
Total Cargo (sin iva)					Q25,344.16

Total Cargo (con iva) **Q28,385.46**

Penalización x Incumplimiento a NTSD (con iva) **Q8,690.28**

**Q37,075.74**

