

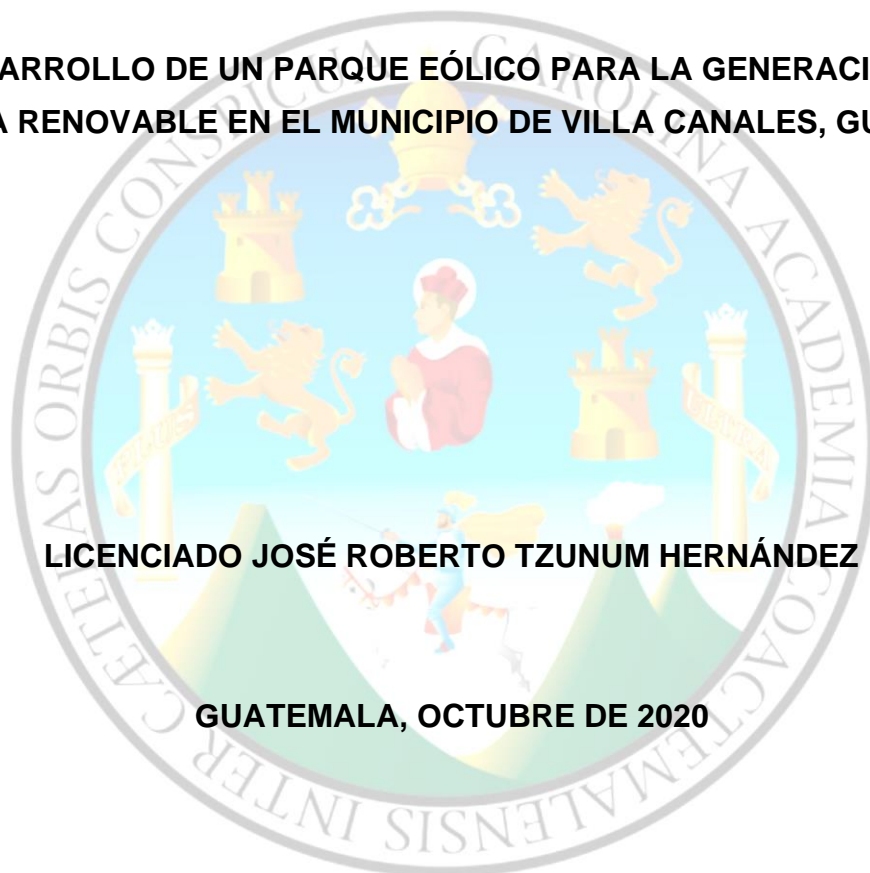
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**  
**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**



**DESARROLLO DE UN PARQUE EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES, GUATEMALA**

**LICENCIADO JOSÉ ROBERTO TZUNUM HERNÁNDEZ**

**GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**  
**ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**



**DESARROLLO DE UN PARQUE EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES, GUATEMALA**

Informe final de trabajo profesional de graduación para la obtención del Grado de Maestro en Artes, con base en el "Instructivo para elaborar el trabajo profesional de graduación", Aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SEPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

**AUTOR: LIC. JOSÉ ROBERTO TZUNUM HERNÁNDEZ**

**GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán

Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales

Vocal Primero: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez

Vocal Segundo: Doctor. Byron Giovanni Mejía Victorio

Vocal Tercero: Vacante

Vocal Cuarto: BR. CC. LL. Silvia María Oviedo Zacarías

Vocal Quinto: P.C. Omar Oswaldo García Matzuy

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL DE  
GRADUACIÓN

Presidente: José Ramón Lam Ortíz

Secretario: Hugo Romeo Arriaza Morales

Vocal I: Gilberto Alfredo Robledo Robles



ACTA/EP No. 2498

ACTA No. MFEP-29-2020

De acuerdo al Estado de Emergencia Nacional decretado por el Gobierno de la República de Guatemala y a las resoluciones del Consejo Superior Universitario, que obligaron a la suspensión de actividades académicas y administrativas presenciales en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ante tal situación la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Económicas, debió incorporar tecnología virtual para atender la demanda de necesidades del sector estudiantil, por lo que en esta oportunidad nos reunimos de forma virtual los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el Domingo 04 de octubre de 2020, a las 12:00 horas, para practicar el EXAMEN PRIVADO DEL TRABAJO PROFESIONAL DE GRADUACION del Licenciado **José Roberto Tzunum Hernández**, carné No. 201215724, estudiante de la sección **A** de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de Maestro en **Artes** en Formulación y Evaluación de Proyectos. El examen se realizó de acuerdo con el Instructivo, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado **"PROYECTO DESARROLLO DE UN PARQUE EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL MUNICIPIO DE VILLA CANALES, GUATEMALA."**, dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue **APROBADO** con una nota promedio de **84** puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el estudiante atienda las siguientes recomendaciones: Que cada uno de la Terna Evaluadora incorporó en cada documento del Trabajo Profesional de Graduación que se adjunta, para lo cual dispone de cinco (5) días hábiles de acuerdo con el Instructivo para Elaborar Trabajo Profesional de Graduación para optar a la Maestría en Artes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los cuatro días del mes de octubre del año dos mil veinte.

Msc. José Ramón Lam Ortiz  
Coordinador

Msc. Hugo Romeo Arriaza Morales  
Evaluador

Msc. Gilberto Alfredo Robledo Robles  
Evaluador

Lic. José Roberto Tzunum Hernández  
Postulante



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
MAESTRIA EN ARTES EN FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS

### ADENDUM al ACTA No. MFEP-29-2020

El infrascrito Coordinador del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante **Jose Roberto Tzunum Hernández**, carné No. **201215724** incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro de la terna evaluadora.

Guatemala, 14 de octubre de 2020.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Ramón Lam Ortiz', written over a horizontal line.

Msc. José Ramón Lam Ortiz  
Coordinador

## **AGRADECIMIENTOS**

- A DIOS:** Por darme la vida y darme la bendición de la salud para alcanzar mis metas.
- A MIS PADRES:** Romeo Tzunum Morales y Blanca Lili Hernández por todo el amor, apoyo y en recompensa a todos sus esfuerzos realizados.
- A MIS HERMANOS:** Mónica, Rosario y Romeo por todo el apoyo y momentos vividos.
- A MIS AMIGOS:** Por los momentos compartidos y la ayuda proporcionada a lo largo de mi vida.
- A MIS FAMILIARES** Por ser una base fundamental en mi crecimiento como persona.
- A MIS DOSCENTES.** En especial Licda. Rosa Solís e Ing. Hugo Arriaza por la guía brindada durante el proceso del presente Informe.
- A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO:** Por su arduo trabajo para la formación de profesionales competentes.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Por formarme como profesional y formar en mi un espíritu revolucionario.

## CONTENIDO

LISTADO DE ACRÓNIMOS .....	i
RESUMEN .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	v
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Antecedentes del sector .....	1
1.2 Antecedentes del problema .....	1
1.3 Antecedentes de Investigaciones Similares .....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1 Proyectos .....	17
2.1.1 Proyectos de Inversión .....	18
2.1.2 Formulación de proyectos .....	19
2.1.3 Evaluación de proyectos.....	22
2.2 Energía.....	25
2.2.1 Unidades de medida de la energía .....	28
2.2.2 Energía Mecánica (Potencial y Cinética) .....	29
2.2.3 Energía Electromagnética.....	29
2.2.4 Energía Renovable.....	30
2.2.5 Energía Eólica.....	31

<b>2.3</b>	<b>Electricidad .....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Circuito eléctrico.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Voltaje.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Corriente eléctrica .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Potencia.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Tipos de Corriente eléctrica.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4</b>	<b>Parque Eólico.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.1</b>	<b>El transporte de la Electricidad .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.1.1</b>	<b>Agentes transportistas de la electricidad .....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Principales barreras al desarrollo de la Energía eólica.....</b>	<b>40</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Las etapas de un proyecto de un parque eólico .....</b>	<b>42</b>
<b>2.4.3.1</b>	<b>Preinversión.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4.3.2</b>	<b>Inversión .....</b>	<b>50</b>
<b>2.4.3.3</b>	<b>Operación.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Área requerida para las turbinas eléctricas .....</b>	<b>51</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Tipos de Comercialización de la energía eléctrica .....</b>	<b>51</b>
<b>2.4.6</b>	<b>Porcentaje de costos para la implementación de un parque Eólico ....</b>	<b>53</b>
<b>2.4.6.1</b>	<b>Costos de Preinversión .....</b>	<b>54</b>
<b>2.4.6.2</b>	<b>Costos de Inversión .....</b>	<b>55</b>



2.4.6.3	Costos de Operación .....	60
3.	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>62</b>
3.1	Definición del problema .....	62
3.2	Delimitación del problema: .....	63
3.2.1	Unidad de análisis .....	63
3.2.2	Período a investigar.....	63
3.2.3	Ámbito geográfico .....	63
3.3	Objetivos .....	63
3.3.1	Objetivo general.....	63
3.3.2	Objetivos específicos .....	64
3.4	Justificación.....	64
3.5	Matriz del Marco Lógico .....	65
3.6	Método científico .....	66
3.7	Técnicas de investigación aplicadas .....	67
3.7.1	Técnicas de investigación documental .....	67
3.7.2	Técnicas de investigación de campo.....	67
3.7.2.1	Entrevista.....	68
4.	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
4.1	Análisis del mercado eléctrico .....	69

<b>4.1.1 Características del producto y servicio .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1.2 Análisis de la oferta .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.2.1 Oferta nacional .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1.2.2 Oferta Regional.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.3 Análisis de la demanda .....</b>	<b>74</b>
<b>4.1.3.1 Demanda nacional.....</b>	<b>74</b>
<b>4.1.3.2 Demanda Regional .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1.4 Análisis de Precios .....</b>	<b>78</b>
<b>4.1.5 Estrategias de comercialización .....</b>	<b>84</b>
<b>4.2 Análisis de los aspectos técnicos fundamentales para el diseño de un proyecto eólico .....</b>	<b>87</b>
<b>4.2.1 Características del sitio para la ubicación del proyecto .....</b>	<b>87</b>
<b>4.2.1.1 Topografía.....</b>	<b>87</b>
<b>4.2.1.2 Velocidad del Viento .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2.1.3 Corrección por altura de la información eólica base .....</b>	<b>94</b>
<b>4.2.1.4 Caminos de acceso.....</b>	<b>95</b>
<b>4.2.1.5 Acceso al Sistema Nacional Interconectado .....</b>	<b>98</b>
<b>4.2.1.6 Acuerdos sobre caminos, zanjas, ocupación de suelo, subestaciones, limitaciones sobre construcciones. ....</b>	<b>99</b>
<b>4.2.1.7 Aspectos Sociales.....</b>	<b>99</b>

4.2.1.8 Aspectos Socioeconómicos de Villa Canales .....	100
4.2.1.9 Presencia de barreras vivas .....	100
4.2.2 Características de los equipos .....	101
4.2.3 Ingeniería del proyecto.....	102
4.2.3.1 Cálculo de la capacidad a instalar en el territorio de 80 Ha .....	102
4.2.3.2 Obra Civil .....	104
4.2.3.3 Caminos Internos .....	106
4.2.3.4 Equipos complementarios.....	107
4.3 Análisis administrativo legal .....	108
4.3.1 Estructura de propiedad .....	108
4.3.2 Estructura administrativa.....	108
4.3.2.1 Descripción de puestos y perfiles .....	109
4.3.2.2 Organigrama.....	115
4.3.2.3 Personal .....	115
4.3.3 Estructura de operación.....	116
4.3.4 Análisis legal.....	117
4.3.4.1 Constitución política de la República de Guatemala. ....	117
4.3.4.2 Ley general de Electricidad (Decreto No. 93-96) .....	118

4.3.4.3	Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista. (Acuerdo gubernativo número 299-98).....	118
4.3.4.4	Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía renovable (Decreto número 52-2003).....	119
4.3.4.5	Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto número 68-86) .....	120
4.3.4.6	Reglamento de la Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía Renovable (Acuerdo Gubernativo No. 2011-2005).....	120
4.3.4.7	Permisos y Licencias.....	120
4.4	Análisis de impacto ambiental y medidas de mitigación .....	123
4.4.1	Descripción del recurso abiótico .....	123
4.4.1.1	Tierra .....	123
4.4.1.2	Clima .....	123
4.4.1.3	Movimiento del aire.....	124
4.4.1.4	Agua .....	125
4.4.2	Descripción del recurso biótico .....	126
4.4.2.1	Flora .....	126
4.4.2.2	Fauna.....	126
4.4.3	Valoración de impactos Matriz de Leopold .....	127
4.4.4	Categoría de proyecto.....	130

4.4.5	Medidas de mitigación .....	132
4.4.6	Plan de contingencia .....	134
4.4.7	Plan de responsabilidad social empresarial (RSE).....	135
4.4.7.1	Mejorar Calidad de Vida.....	135
4.4.7.2	Planes de Capacitación .....	136
4.4.7.3	Concientización del cuidado del medio ambiente.....	136
4.4.7.4	Otorgar trabajo en la comunidad.....	136
4.4.7.5	Tours a Interesados en proyectos Renovables .....	136
4.4.7.6	Reforestación de áreas verdes .....	137
4.4.7.7	Ayuda por desastres climáticos y naturales.....	137
4.5	Análisis financiero .....	138
4.5.1	Análisis de Costos.....	138
4.5.1.1	Costos en la etapa de Preinversión .....	138
4.5.1.2	Costos en la etapa de Inversión.....	141
4.5.1.3	Costos en la etapa de operación .....	141
4.5.1.4	Costos e ingresos en la etapa de abandono.....	143
4.5.2	Análisis de ingresos .....	144
4.5.3	Flujo de caja del proyecto Parque Eólico .....	146
4.5.4	Índices de Rentabilidad.....	148

4.5.4.1 Costo de Capital promedio ponderado (WACC).....	148
4.5.4.2 Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno.....	150
4.5.4.3 Relación Beneficio Costo .....	150
4.5.4.4 Periodo de recuperación de la inversión .....	151
4.5.4.5 índice de Rentabilidad .....	152
4.5.5 Análisis de Sensibilidad.....	153
4.6 Resultado de las Entrevistas .....	155
CONCLUSIONES .....	163
RECOMENDACIONES .....	165
BIBLIOGRAFÍA .....	167
ANEXOS .....	174
ÍNDICE DE TABLAS.....	179
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	181
ÍNDICE DE FIGURAS .....	183

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

°C	Grados Centígrados
AMM	Administrador de Mercado Mayorista
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO <sub>2</sub> eq	Dióxido de carbono equivalente
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
DEOCSA	Distribuidora de Electricidad de Occidente S.A.
DEORSA	Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
EPM	Empresas Públicas de Medellín
ETCEE	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica
FIE	Fecha Inicial de Entrega
FONTIERRA	Fondo Nacional de Tierras
GE	General Electric, Inc
GJ	Gigajoule
GW	Gigawatts
GWh	Gigawatts hora
IEMA	Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadística
IR	Índice de Rentabilidad
ISR	Impuesto Sobre la Renta
IVA	Impuesto al Valor Agregado
Kg	Kilogramo
KW	Kilowatts
KWh	Kilowatts hora
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

MEM	Ministerio de Energía y Minas de Guatemala
MER	Mercado Eléctrico Regional
MJ	Megajoule
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
MW	Megawatts
MWh	Megawatts hora
NOX	Óxido de nitrógeno
NTAUCT	Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PIB	Producto Interno Bruto
PPA	Power Purchase Agreement
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión
R B/C	Relación Beneficio / Costo
RSE	Plan de responsabilidad social empresarial
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria
SEGEPLAN	Secretaria General de Planificación
SIEPAC	Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central
SIN	Sistema Nacional Interconectado
SO2	Dióxido de azufre
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
TIR	Tasa Interna de Retorno
TRECSA	Transportadora de Energía de Centroamérica, S.A.
US\$	Dólares Estadounidenses
V	Voltios
VAN	Valor Actual Neto
W	Watts
WACC	Weighted Average Cost of Capital



## RESUMEN

Como es de conocimiento general, mundialmente se está sufriendo cambios medioambientales cada vez más fuertes, por la contaminación excesiva y sin control que se realiza en la gran mayoría de países, ante tal problemática se eligió investigar la factibilidad de establecer un parque eólico en el Municipio de Villa Canales, realizando todos los estudios necesarios para darle respuesta al problema, esto con el motivo de aportar al desarrollo de proyectos limpios y sostenible que provoquen un desarrollo económico en el sector y sean amigables con el medio ambiente.

Se determinó como objeto de estudio de la siguiente investigación al Municipio de Villa Canales, Guatemala y el potencial que este tiene para el desarrollo e inversión del parque eólico, contando ya con precedentes en proyectos del mismo giro.

Para llegar a obtener los resultados, se utilizó el método científico con un enfoque cuantitativo, el cual llevó en un orden riguroso durante todo el proceso de la investigación, abarcando la fase indagatoria, demostrativa y expositiva dentro de las cuales se utilizaron las técnicas de investigación como la consulta de bibliografía y entrevistas a dos expertos para el desarrollo de esta.

Dentro de los resultados más importantes que se obtuvieron al realizar la investigación fueron:

1. Desde el punto de vista del estudio de mercado se determinó que existe demanda potencial insatisfecha en el Mercado Eléctrico Regional con un mejor precio de venta, así mismo algunos gobiernos centroamericanos están dando prioridad a la compra de energía que provenga de fuentes renovables ya que estas son producidas a un menor costo.

2. Desde el punto de vista del estudio técnico, se determinó que el sitio donde está proyectado hacer el emplazamiento cuenta con las condiciones climatológicas y recurso eólico necesarias para llevar a cabo el proyecto, solo con la salvedad que el tamaño del proyecto también depende de la extensión de terreno que se pueda negociar o adquirir.
3. Desde el punto de vista del Estudio administrativo legal, se determinó que en Guatemala existe la legislación adecuada para el desarrollo de estos proyectos, así mismo cuenta con incentivos fiscales para proyectos de este giro, garantizando así un retorno de inversión y pago de obligaciones más acelerado.
4. En el estudio de impacto ambiental, se determinó que el proyecto tiene cierto efecto adverso sobre algunos recursos naturales de la zona, al desarrollar el plan de mitigación estos efectos adversos son combatidos eficazmente, teniendo así un impacto positivo ante el medio ambiente durante veinte años, sin contar que el mismo proyecto mitiga el uso de combustibles fósiles para la generación de energía, siendo así un proyecto con efectos positivos al ambiente.
5. En el análisis financiero realizado, se establecieron los principales indicadores tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), Periodo de retorno de inversión (PRI), Relación beneficio costo (RBC), el índice de rentabilidad (IR) y el análisis de sensibilidad. Los principales indicadores dieron como resultado un valor actual neto positivo de 5,715,015 US\$, generando una TIR del 14.50% teniendo un retorno de la inversión en doce años.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se está luchando con un problema social el cual está ganando la batalla, este problema es la “contaminación”. Año tras año las nuevas generaciones están recibiendo un mundo más contaminado y sucio de la mano de sus antecesores y se está contribuyendo en el daño, aunque no se pueda ver el efecto en el instante, este se está acumulando cada año con un crecimiento exponencial muy relacionado al crecimiento económico y crecimiento poblacional de cada país.

Ante tal problemática y gran oportunidad que tienen las generaciones presentes para aportar su granito de arena, se ha optado por tomar como tema de investigación el desarrollo de proyectos de generación de energía limpia como una gran oportunidad de inversión a nivel mundial, ya que actualmente el recurso aire es uno de los más contaminados por causa de la quema de combustibles de origen fósil y de gas natural, no se diga la excesiva tala de árboles que su principal función es absorber el dióxido de carbono que se genera para dar oxígeno.

El presente informe está realizado desde el punto de vista de la formulación y evaluación de proyectos el cual es la base para desarrollar proyectos exitosos y rentables antes de tomar la decisión de realizarlos.

En el presente documento se desarrolla el tema “desarrollo de un campo eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala, el cual representa el resultado del proceso de investigación que se realizó utilizando todas la herramientas y conocimientos aprendidos durante los cursos del postgrado y la experiencia profesional que se tiene, por consiguiente, a manera de preámbulo se describe brevemente cada uno de los capítulos que lo integran.

Como justificación de la investigación además de lo ya antes mencionado, en la actualidad ya se tiene la tecnología para este tipo de proyectos, en la última década se ha venido desarrollando a pasos acelerados tecnología renovable, teniendo las maquinas una mayor potencia a un costo relativamente más bajo, haciendo así una

inversión más llamativa para los inversionistas y más amigable con el medio ambiente.

El objetivo general es la propuesta del parque eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala y nuestros objetivos específicos son los diferentes estudios que se deben de realizar para determinar la factibilidad del proyecto, entre los cuales se plasmaron: 1) el estudio de mercado; 2) El estudio técnico; 3) El estudio Administrativo Legal; 4) El estudio de impacto ambiental; y 5) la evaluación financiera.

En el Capítulo I: se desarrollan los antecedentes del tema a tratar dividiéndose en antecedentes del sector donde se encierra el tema en un ámbito geográfico, los antecedentes del problema donde se desarrolla como ha venido evolucionando el problema establecido hasta llegar a la época actual y hacia dónde se quiere llegar, y por ultimo los antecedentes de investigaciones similares, en este apartado se investigó el resultado y las conclusiones a que han llegado esas investigaciones similares.

En el Capítulo II: Contiene el Marco Teórico donde se listan todos los conceptos y definiciones relacionadas al tema a investigar, para fundamentar el proyecto con base al planteamiento del problema que se ha desarrollado.

En el Capítulo III: Contiene la Metodología de la investigación en el cual se definieron y sistematizaron todas los métodos y técnicas utilizados durante la investigación para darle solución al problema planteado y alcanzar los objetivos previstos.

Y por ultimo el Capítulo IV: Contiene la discusión de los resultados obtenidos en el proceso de investigación, se muestra el desarrollo de cada objetivo específico planteado en el plan de investigación para poder alcanzar el objetivo general y así darle respuesta a nuestro problema de la investigación en las conclusiones y recomendaciones del informe.

## **1. ANTECEDENTES**

A continuación, se desarrollan los antecedentes del sector, del problema y de investigaciones similares del tema objeto de trabajo y como se ha desarrollado a lo largo del tiempo.

### **1.1 Antecedentes del sector**

El municipio de Villa Canales se encuentra a una altura de 1,215 metros sobre el nivel del mar con una población de 155,422 habitantes y una superficie de 353 km<sup>2</sup>. (Municipalidad de Villa Canales, 2020).

En la actualidad existe un parque eólico el cual pertenece a San Antonio el Sitio, S.A. es un parque en operación de generación eólica, compuesto por 16 aerogeneradores, cada uno con una potencia de 3.3 MW y que en total suman 52.8 MW. Este parque se encuentra ubicado en el municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala. La operación comercial empezó el 19 de abril de 2015. (Eólico San Antonio El sitio, 2019).

### **1.2 Antecedentes del problema**

Las relaciones económicas internacionales plantean un problema particular a la gestión del medio ambiente, en muchos países en desarrollo, la agricultura, la silvicultura, la producción de energía y la minería, generan por lo menos la mitad del PIB (Producto nacional Bruto) y representan una proporción aun mayor del sustento y el empleo de los países en desarrollo ya que por presiones económicas nacionales e internacionales los llevan a explotar en exceso sus recursos naturales. (Brundtland, 1987).

Sin embargo, gracias a la iniciativa y liderazgo de la ex-primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland realizando el informe de Brundtland en 1987, se empezaron a cuestionar hacia donde se estaba dirigiendo el futuro de la humanidad, analizando

el desarrollo económico a un costo grande que es la degradación del medio ambiente.

Ese informe fue un parteaguas donde organizaciones y gobiernos empezaron a tomar cartas en el asunto para cambiar políticas de desarrollo destructivas, y reforzar e incentivar el desarrollo de prácticas sostenibles y amigables con el medio ambiente, se pudo ver una luz en ese futuro común que todos quieren ver en nuestro planeta que es nuestro hogar, sin embargo, las políticas desarrolladas no han sido disruptivas, se han venido haciendo de apoco, favoreciendo a sectores y grupos sociales en detrimento de la sociedad y que no han entrado en razón que se está en una cuenta regresiva para llegar a un punto de no retorno.

En el informe de Brundtland (1987) viene a contrastar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental, indicando que a mayor crecimiento económico mayor es la degradación ambiental por la falta de restricciones y siendo la energía un producto principal en los países en desarrollo el impacto ambiental es demasiado fuerte, ya que en muchas partes del mundo la población crece a tasas que los recursos ambientales disponibles no pueden sostener, tasas que dejan por atrás toda expectativa de mejoramiento. En el caso de Guatemala en el primer trimestre del año 2020 y 2019 un 76% y 70% respectivamente de la energía fue obtenida de fuentes renovables del cual un 50% promedio es generado por las hidroeléctricas. (Administrador de Mercado Mayorista, 2020).

Para el año 2019 y 2018 un 58% y 63% respectivamente la energía es renovable la cual está conformada por las siguientes fuentes: Geotérmica, eólica, solar, Hidroeléctrica, Biogás, Biomasa y un 42% y 39% respectivamente es No renovable el cual lo constituye la utilización de gas natural, carbón mineral y Diésel, así como la utilización de bunkers. Comparando estas cifras con el año 2010 hay un 66% de fuente de energía renovables y 34% de no renovables, estos números indican que se está cubriendo gran parte del crecimiento demográfico con fuentes de energía no renovable. (Administrador de Mercado Mayorista, 2020).

En el año de 1997 diez años después del informe de Brundtland con fecha 11 de diciembre para ser exacto los países industrializados se comprometieron en la ciudad de Kioto a reducir la emisión de gases de efecto invernadero a un 5% tomando varias medidas dejando como línea base el año de 1990 y teniendo como meta el año 2008 y 2012. (Naciones Unidas, 1998).

Contrastando los objetivos de dicho acuerdo con la realidad veintitrés años después, el acuerdo de Kioto se quedó corto, según Rosen (2015), en el artículo escrito para la revista web Politics & Policy indica que dicho acuerdo no tuvo un impacto sustancial en el problema climático y que se perdió tiempo valioso, ya que hace 23 años era el tiempo oportuno, porque actuar sobre las emisiones de una forma más decidida en ese momento hubiera requerido menos esfuerzo al día de hoy, se necesitaban más acciones de los gobiernos de los 36 países que adoptaron el acuerdo para que al día de hoy se notaran cambios significantes, el acuerdo de Kioto llegó a su objetivo, incluso hubieron países que redujeron sus emisiones un 24% y ciudades y estados que adoptaron medidas para a reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, pero se pudo haber llegado a más.

Otro documento importante es la agenda 21 de la Organización de Naciones Unidas (ONU) el cual es un plan detallado de acciones que deben ser acatadas por los países miembros, entidades de la ONU y particulares que incurren en impacto humano sobre el medio ambiente. (ONU, 1992).

En términos de energía, la agenda indica que debido al crecimiento poblacional el consumo de energía va hacia el alza y estos nuevos mercados se deben de estar supliendo con fuentes de energía nueva y renovable ya que de lo contrario la presión sobre la tierra, el agua y el aire es cada vez más grave para sustentar la vida. (ONU, 1992).

La agenda también menciona que las ciudades que no son gestionadas adecuadamente y crecen rápidamente, crecen con grandes problemas ambientales,

por esa razón se debe de combatir el problema desde los gobiernos locales o municipales, formulando políticas amplias para el desarrollo sostenible relacionando los factores demográficos, la utilización de los recursos, la difusión de tecnología y el desarrollo. (ONU, 1992).

**Tabla 1. Incrementos del uso de energía asociados a aumentos de la población**

año	Población (x 10 <sup>9</sup> )	Uso total de energía (EJ/año)	TW	Uso de energía por persona (Gj/Año)	Uso de energía por persona
1900 (países desarrollados)	1.2	284	9.0	237	7.5
1900 (países en desarrollo)	4.1	142	4.5	35	1.1
1900 (mundo)	5.3	426	13.5	80	2.5
2025 (países desarrollados)	1.4	167	5.3	120	3.8
2025 (países en desarrollo)	6.8	473	15.0	69	2.2
2025 (mundo)	8.2	640	20.3	78	2.5

**Fuente:** González Velasco, Energías renovables (2012). El cuadro muestra la cantidad de Terawats (TW) que se necesitarían producir para el año 2025 para poder avasetercer el crecimiento poblacional.

Los países en desarrollo deberán formular programas de acción nacional para promover el desarrollo integrado, distribución, capacitación e investigación de las tecnologías que economizan energía y utilizan fuentes renovables de energía: en particular la energía solar, hidroeléctrica, eólica y biomasa. (ONU, 1992).

En la conferencia de las naciones unidas sobre el desarrollo sostenible realizada en Rio de Janeiro, Brasil, los jefes de estados renuevan sus compromisos en pro del desarrollo sostenible y de la promoción de un futuro económico, social y ambiental sostenible para el planeta y las generaciones presentes y futuras, como principal punto es el combate a la pobreza y el hambre desde una perspectiva sustentable



en todas las políticas implementadas. En la sección de energía se reconoce el papel fundamental de esta para el desarrollo dado que el acceso a servicios energéticos modernos y sostenibles ayuda a reducir la brecha de la pobreza, salva vidas, mejora la salud y ayuda a satisfacer las necesidades humanas básicas. Los países miembros dan su apoyo al desarrollo de fuentes de energía renovables y tecnología de baja contaminación, así como el uso eficiente de la energía para que llegue a los lugares más pobres. (Naciones Unidas, 2012).

De esta conferencia se establecieron los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en el 2015 el cual establece 17 objetivos y 169 metas, estos mismos objetivos se desarrollan en los ámbitos de cambio climático, desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible, la paz y la justicia, específicamente el objetivo 7 (ODS7) trata sobre la energía asequible y no contaminante, según las estadísticas el acceso a la energía en la última década, cada año 153 millones de personas obtuvieron acceso a electricidad, pero las personas más necesitadas de esta se encuentran en África del sur.

En el informe de Paris viene a ratificar dicha lucha por la reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, teniendo como objetivo según el artículo 2 de dicho informe el siguiente, “reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza”, para lo cual se determinaron tres acciones concretas:

- a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C y de seguir trabajando para llegar a menos de 1.5 °C.
- b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático por y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer la producción de alimentos.
- c) Elevar las corrientes financieras a un nivel compatible.

Estos tres puntos se pueden llevar a cabo con base a la realización a políticas públicas que sean orientadas a la mitigación y a la adaptación al cambio climático. (ONU, 2015).

El primer aspecto importante que se debe de tener en cuenta de la electricidad es que no está presente directamente y de forma libre en la naturaleza, sino que siempre se obtiene a través de la transformación de otro recurso, como por ejemplo el carbón, el petróleo, el gas, el agua, el viento o el Sol.

En los últimos años ha aumentado la generación con energía renovables, los motivos son políticas gubernamentales a favor del ambiente, el abaratamiento de la gran mayoría de tecnologías de la energía renovable, las fluctuaciones en los precios de los combustibles de origen fósil, el aumento poblacional y la ampliación del acceso a energía, siendo un gran salto el año 2009 donde la energía eólica creció un 32% con respecto al año anterior. (Asociación Empresarial Eólica, 2019).

Para establecer la certeza jurídica y clima social del país de Guatemala hay indicadores internacionales que califican al país como uno de los mejores a nivel regional ya que durante veinte años ha mantenido una estabilidad macroeconómica en aspectos como la tasa de interés, tasa in inflación, tipo de cambio, entre otros. Así mismo, desde 1996 desde la promulgación de la Ley General de Electricidad el país se ha caracterizado por tener instituciones sólidas en el sector energético garantizando así una certeza a sus participantes.

Entre los principales índices a nivel mundial donde se puede evaluar a Guatemala se tiene el índice de competitividad publicado por el Foro Económico Mundial (2019), posicionando al país en el puesto 98 de 141, retrocediendo dos espacios con respecto al 2018, valorando así la capacidad de un país para proveer oportunidades de desarrollo económico, siendo superado por Costa Rica y Panamá.

El indicador conocido como Doing Business publicado por el Banco Mundial (2019), posiciona a la economía del país en el lugar 96 de 190, siendo superado por El

Salvador posición 91, Panamá posición 86 y Costa Rica posición 74. Este indicador muestra la factibilidad de un país para realizar negocios.

Otro indicador muy importante es la Calificación del Riesgo País, calificación otorgada por agencias a créditos y deudas de empresas y gobiernos, mostrando así la capacidad de cada país de retornar la financiación y sirviendo de información a los inversionistas para conocer sobre los niveles de riesgo y capacidad de país para solventar sus deudas. Las calificaciones dadas por las agencias Fitch Rating, Moody's y S&P muestran que Guatemala es el segundo mejor de la región después de Panamá. (SECMCA, 2020).

Como se puede observar Guatemala se encuentra posicionada como uno de los países más estables de la región sin embargo cuando se le añade el factor gente la conflictividad puede agravarse por ser un país pluricultural, multilingüe y multiétnico.

Para Benavides (2016) Guatemala ha mantenido sus niveles de desarrollo, sin embargo, no ha logrado mejorar al ritmo con que lo hacen los países de la región. Si Guatemala quiere estar en las posiciones que ocupan Perú, Argentina y Colombia (entre los mejores 30 del mundo) tiene que iniciar por el aspecto más débil de su desarrollo: el fortalecimiento institucional y la certeza jurídica.

En el informe de ENERGUATE (2018), indica que, en gran medida, la conflictividad socio ambiental ha sido promovida por entidades que, al amparo de las ambigüedades que presenta el convenio 169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, contaron con grandes recursos para promover acciones como las consultas ciudadanas en contra de la minería e hidroeléctricas, al punto de casi convertirlas en ley y negando validez a cualquier otro procedimiento existente en el ordenamiento jurídico guatemalteco.

Su verdadera área de interés sigue siendo la conflictividad agraria, en la cual han trabajado desde la finalización del conflicto armado interno y donde interactúan con entidades estatales como el Fondo Nacional de Tierras (FONTIERRA) y la

Secretaría de Asuntos Agrarios (SAA), controladas casi siempre por personas ideológicamente afines.

Dentro la conflictividad en el sector eléctrico las empresas operadoras encontraron varios problemas a la hora de realizar sus actividades que el Estado guatemalteco no pudo resolver, bien fuese por falta de voluntad política o por carencia de recursos. El primer problema fue que la infraestructura eléctrica que compraron al Instituto Nacional de Electrificación (INDE), la cual tenía una alta dispersión de usuarios en el área rural, con una arquitectura de red eléctrica extremadamente radial y de longitudes muy largas; si bien se realizaron inversiones cuantiosas los usuarios no poseían capacidad de pago; de esa cuenta nunca fue posible garantizar la misma calidad de servicio que se tiene actualmente en la zona central del país.

Otro elemento fue el surgimiento de movimientos sociales que, empezando con reivindicaciones políticas en un ambiente caracterizado por el aumento de la pobreza o la percepción de que empeoraba, el tejido social destrozado por un conflicto que casi veinte años. (ENERGUATE, 2018).

Con base a todos estos precedentes y sufrir a nivel nacional los efectos del cambio climático se han suscitado cambios en países a favor de la disminución de gases de efecto invernadero utilizando nueva tecnología limpia para la generación de energía y Guatemala no ha sido la excepción expandiendo las políticas e instrumentos para promover las inversiones de carácter renovable.

### **1.3 Antecedentes de Investigaciones Similares**

Guatemala es un país dónde la energía eléctrica es producida en una buena parte por sistemas renovables. En el primer trimestre del año 2020 según el administrador de mercados de mayoristas el 76% de la energía equivalentes a 2,294.08 de GW fue producida de forma renovable y un 24% equivalente a 715.51 GW por uso de Diesel o carbón. (Administrador de Mercado Mayorista, 2020).

La energía eólica es una energía limpia, ilimitada y renovable que cada vez es más conveniente que las fuentes convencionales, poniéndola como la que tiene mayor potencial para combatir el cambio climático disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Según un artículo en su página web la Asociación Empresarial Eólica de España (2019), indica que la energía eólica se posiciona como una tecnología líder para combatir el cambio climático ya que en el 2019 rompió récord como la energía eléctrica más limpia contaminando con 14 gr de CO<sub>2</sub> por kWh consumido frente a los 40 gr de CO<sub>2</sub> de la línea base de 1990, lo que equivale a una reducción del 65% en 29 años.

Aunque la energía eólica es en un 99% amigable con el medio ambiente, hay desventajas en este tipo de fuente de energía cuando se convierte en megaproyectos que requieren de gran cantidad de espacio de tierra y los impactos se ven multiplicados de forma exponencial para la implementación de estos, según el artículo publicado por la revista Nómada de Guatemala Flores Cruz (2018) da una crítica para reflexionar sobre la creación de parques eólicos en México ya que los aerogeneradores tienen vidas útiles de 25 a 30 años y no hay ninguna industria que recicle dichos materiales, así también indica de las construcciones de los cimientos ya que se realizan excavaciones de un promedio de 40 x 40 metros y de 3 a 5 mt de profundidad con cemento y acero, pero el artículo no da una base firme para sostener dicho argumento con datos, aunque todo lo planteado pudiera ser verdad las tecnologías han venido evolucionando a grandes pasos desde el primer parque eólico aperturado en Oaxaca, México en 1994.

El punto para discutir principalmente es la huella de carbono de la energía eólica desde la extracción de las materias primas para la elaboración de los molinos de viento hasta la desmantelación y gestión de los materiales y residuos después de su vida económica.

Según el sitio Web de GlobeCore (2020) Hay dos enfoques para iniciar el cambio de aceite de la turbina eólica. El primero es seguir las instrucciones del fabricante

del aceite y cambiar el aceite cuando se agote la garantía, independientemente de la condición real del aceite. En este caso, el aceite se cambia cada dos o tres años. El segundo enfoque es cambiar el aceite después de detectar desviaciones críticas de los parámetros del aceite tomando y analizando muestras de aceite. La viabilidad económica de usar el cambiador de aceite de engranaje de turbina eólica en comparación con la mano de obra es obvia. Por ejemplo, cambiar 80 galones de aceite requiere 12 horas para un equipo de dos. El CMM-G puede cambiar el mismo volumen en dos horas. Las compañías alternativas de generación de energía tienen tres opciones de cambio de aceite: comprar el equipo, alquilarlo o contratar el servicio.

El autor Vega & Ramírez (2014) menciona en su libro que es indiscutible que la producción y el consumo de energía convencional tiene claras repercusiones sobre el medio ambiente, contribuyendo por una parte a gravar problemas generales como el agotamiento de recursos naturales o la generación de residuos radioactivos y produciendo afecciones a escala local como pueden ser la contaminación de ríos y suelos.

Entre la conclusión realizada en su investigación Canga (2016) indica que la huella de carbono de un kWh producido en un parque eólico es pequeña de 5 a 10 gr CO<sub>2</sub>eq y puede ahorrar hasta 600,000 gr CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), 1.33 gr SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre) y 1.67 gr de NOX (óxido de nitrógeno). Esto significa que contamina unas 50 y 100 veces menos que una central eléctrica que usa gas Natural y hasta 200 veces menos que una central de carbón.

La eólica CAT de Catalunya indica que el tiempo necesario para generar la cantidad de energía utilizada para fabricar la turbina y la instalación del molino de viento es de seis y ocho meses de funcionamiento, a esto se le conoce como balance energético. (Asociación Eólica de Catalunya, 2020).

En promedio en el territorio Nacional de Guatemala, la generación de Energía Eléctrica, por medio de parques eólicos ha venido aumentando en un 4% desde el año 2015, con la apertura del primer parque eólico en Villa Canales llamado San Antonio el Sitio, seguido por la apertura del parque eólico Viento Blanco en San Vicente Pacaya, Escuintla el mismo año y la apertura en el año 2018 del parque eólico Las Cumbres en Agua Blanca, Jutiapa, con una capacidad de 106.50 MW. En el año 2019 no obstante en el Municipio de Villa Canales en el mismo periodo de tiempo se ha venido generando la misma cantidad de energía anualmente, esto indica que no se ha ampliado el parque eólico existente en el área. (Administrador de Mercado Mayorista, 2020).

En la Tesis de Polanco (2012) se desarrollan los lineamientos para la creación de un parque eólicos en Guatemala con el objetivo de facilitar la información, incentivar el desarrollo y fomentar la inversión de este tipo de ideas en Guatemala.

La Ley General de Electricidad (Decreto No. 93-96, 1996, art. 1) indica, que la generación es libre y que no requiere autorización o condición previa por parte del Estado, así también el transporte de energía toda vez no implique utilizar bienes de dominio público, (...) en el artículo 11 indica que las personas que deseen realizar estudio de algún proyecto de generación y transporte de energía eléctrica deberán solicitar un permiso temporal de un año para poderlo realizar y en artículo 44 indica que la empresa privada no lucrativa Administradora de Mercado mayorista estará a cargo de la coordinación de la operación de centrales generadoras, establecer precios de mercado a corto plazo y garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica.

La Ley General de Electricidad (Decreto No. 93-96, 1996, art. 1), reestructura el mercado eléctrico guatemalteco para una mayor eficiencia y descentralización del servicio, logrando así uno de sus objetivos previstos que es el de llegar a la gran mayoría de las comunidades más remotas del territorio nacional para su desarrollo, el mercado está conformado de la siguiente forma:

- a) Generación: Son las centrales que producen energía de diferentes fuentes, como las renovables (viento, agua, mareas, solar, biomasa, etc.) y las no renovables (carbón, gas natural, el petróleo). Los generadores privados pueden suscribir contratos con las distribuidoras, vender su electricidad en el mercado spot o tener contratos de suministro con grandes consumidores con total libertad. También pueden exportar e importar libremente del Mercado Eléctrico Regional (MER) y de México.
  
- b) Despacho: El Administrador del Mercado Mayorista (AMM), es una entidad privada sin fines de lucro, que se encarga de la coordinación comercial y operativa del sistema, al administrar las operaciones de compra y venta de energía y coordinar el despacho de electricidad.
  
- c) Transmisión: Guatemala es el único país de la región que privatizó el sistema de transmisión en la reforma eléctrica. La Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE) es dueño de la mayoría de las líneas de transmisión en Guatemala, pero también participan: TRELEC que pertenece al grupo de Empresas Públicas de Medellín (EPM) y Transportadora de Energía de Centroamérica, S.A. (TRECOSA), con 14% y 7% de las líneas de transmisión, respectivamente. Tienen como finalidad el transporte de energía eléctrica de manera continua en el Sistema Nacional Interconectado (SNI) y de las interconexiones regionales, operación, mantenimiento, mejoras y ampliaciones de la infraestructura de transformación, control y comunicaciones.

Además, si un generador decide construir una línea de transmisión, esta le pertenece, y si la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) decide que le aporta capacidad al sistema nacional, se le paga peaje.



- d) Distribución: Existen 3 distribuidoras grandes en el país y 16 municipales. Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA) que pertenece al Grupo EPM tiene asignado el departamento de Guatemala, Escuintla y Suchitepéquez.

Distribuidora de Electricidad de Occidente S.A. (DEOCSA), Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. (DEORSA) ambas empresas operan comercialmente bajo el nombre de ENERGUATE el cual tiene asignado los diecinueve departamentos restantes del país de Guatemala. Estas se encargan de llevar la electricidad al consumidor final (hogares, oficinas, pequeños negocios). Esta organización fue adquirida por un fondo británico de inversión denominado Actis en mayo de 2011 Actis (2020) y posteriormente adquirido en enero de 2016 por IC- Power, que es una organización con base en USA, de capital israelí. (Prensa Libre, 2016).

- e) Comercialización: Las comercializadoras son las encargadas de comprar la energía en el mercado eléctrico. También logran acuerdos con generadoras de energía para después vender a los usuarios, sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo. Existen más de 20 comercializadoras en el país.
- f) Mercado Mayorista: Es dinámico y eficiente. Además, su conexión con México le permite realizar mayor cantidad de transacciones.
- g) Grandes Consumidores: Pueden negociar directamente con los generadores o con una comercializadora y participar en el mercado mayorista. Para ser calificado como gran consumidor, las empresas deben tener una demanda máximo superior a 100 kW.

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto No. 68-86, art. 8) indica, que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o

no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente.

El autor Palma (2017), en su tesis concluye que de acuerdo con el contexto energético en Guatemala se puede determinar que la organización energética es sumamente eficiente, sin embargo, su distribución se limita a los beneficios económicos de las empresas encargadas en transportación y distribución, es decir que se muestra una deficiencia en esfuerzos políticos para poder llegar a toda la población guatemalteca. Es importante resaltar que se tienen los recursos técnicos y de planificación para poder abastecer de energía en todo el territorio que evidentemente no es un aporte estatal y que probablemente la exportación de energía no sería necesaria si primero se cubriera al menos la necesidad energética que Guatemala demanda a muchos lugares recónditos y olvidados. En este orden de ideas los proyectos a pequeña escala abastecerían en gran medida esta deficiencia energética para poder cubrir las áreas donde aún no existe cobertura.

El autor Creus (2008), indica que no se requiere de grandes velocidades de viento para producir energía, en la mayoría de los casos un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 5 metros por segundos (m/s), equivalente a 18 kilómetros por hora y durante más de 3500 horas/año equivalente a 146 días, el lugar es considerado adecuado para instalar un parque eólico.

El autor Requena (2012) menciona que la maquina permanece parada cuando la velocidad del viento es inferior a la velocidad de arranque, cuyo valor tipico suele ser de 3 y 5 m/s, o bien cuando la velocidad del viento alcanza valores superiores a la velocidad de parada o corte general, con valores típicos en torno a 25 m/s. Cuando se da esta situación, la maquina se desconecta de la red y se para de forma automática.

Las mediciones de velocidad de viento en Villa Canales desde septiembre de 2008 a Julio de 2012 en promedio son de 5.6 metros por segundo el cual es idóneo para un parque eólico. (Dirección General de Energía, 2018).

El Mercado Mayoristas de Guatemala (2020), menciona que actualmente los parques eólicos están generando el 2.71% del total de energía nacional según datos del 2019, el total de energía generada en el país de Guatemala por parte del Parques eólico San Antonio el Sitio ubicado en Villa Canales es de 1.16% equivalente a unos 142.43 GWh.

## 2. MARCO TEÓRICO

En el presente marco teórico se desarrollan las teorías relacionadas al problema de investigación y enfoques teóricos y conceptuales para fundamentar la investigación de la propuesta para implementar un Parque Eólico como fuente de energía renovable desde un punto de vista de la Formulación y evaluación de proyectos.

“Desde un punto de vista teórico, en los países donde se practica la planificación es más fácil la identificación inicial de proyectos, llamada también ideas de proyectos, ya que el mecanismo de planificación proporciona indicadores económicos bastante detallados, junto con prioridades sectoriales, basadas en criterios bien definidos.” (Arboleda, 2001).

“La ejecución de proyectos productivos constituye el motor del desarrollo de una región o país, razón por la cual las instituciones financieras del orden regional, nacional e internacional tienen como objetivos la destinación de recursos para la financiación de inversiones que contribuyen a su crecimiento económico y beneficios sociales.” (Córdoba, 2011).

“Un emprendedor puede generar varias ideas de negocio, pero debe escoger aquella que le permita posicionarse en el mercado. Para ello debe evaluar la rentabilidad del producto o servicio, oportunidad de crecimiento en ventas en el mercado, prospectiva del proyecto, minimizar costos, viabilidad financiera y económica, entre otros.” (Galindo, 2011).

Como bien lo mencionan los diferentes autores, la formulación y evaluación de proyectos son un conjunto de procedimientos que permite organizar, analizar y crear información para la toma de decisiones inteligentes con base a datos cuantitativos y cualitativos.

## 2.1 Proyectos

La palabra proyecto viene inmerso en muchas actividades de todo ámbito, desde nuestro proyecto de vida hasta el lanzamiento de nuevas empresas o productos al libre mercado, por esa razón se van a tomar varias definiciones de diferentes autores para que el lector le quede claro el porqué del presente trabajo y la importancia de esta disciplina.

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, la cual tiende a resolver una necesidad humana. Esta definición también es compartida en el libro (Baca Urbina 2013, Pág.2; Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2008).

Para Contreras (1998) en su libro *Formulación y evaluación de proyectos* citado por Puentes Montañez, Prieto Puentes, & González (2019), el proyecto se define como el conjunto de antecedentes que permiten juzgar las ventajas y desventajas que presenta la asignación de recursos económicos a un centro o unidad productora donde serán transformados en determinados bienes o servicios.

Para Méndez (2004) en *Formulación y evaluación de proyectos, Enfoque para emprendedores* citado por Puentes Montañez, Prieto Puentes, & González (2019). Un proyecto de desarrollo es el análisis cuidadoso de una idea que puede surgir de una persona o grupo de personas del sector público o privado y en cualquier sector de la economía, para crear una unidad productiva de bienes o servicios en beneficio tanto de los interesados en la idea como de la población a la cual va dirigido el proyecto.

De acuerdo con Miranda (2004) en *Gestión de proyectos* citado por Puentes Montañez, Prieto Puentes, & González (2019), el proyecto se constituye en la unidad operativa del desarrollo (nacional, regional, local e institucional) y se expresa como medio para la solución de problemas; para atender necesidades sentidas de la población; como mecanismo para la concertación y gestión de recursos (a través

de los presupuestos); para la coordinación de acciones interinstitucionales en actividades de interés común y desde luego, como instrumento de control de gestión que permita verificar la eficacia de los planes y programas.

Según Roura y Cepeda (1999) en Manual de identificación, formulación y evaluación de proyectos de desarrollo rural citado por Puentes Montañez, Prieto Puentes, & González (2019), definen como proyecto a todo conjunto metódicamente diseñado de actividades planificadas y relacionadas entre sí, que utilizan recursos para generar productos concretos, con los cuales apuntan a alcanzar objetivos definidos

El autor Ramírez (2001) en Introducción a la formulación y evaluación de los proyectos citado por Puentes Montañez, Prieto Puentes, & González (2019), define al proyecto como el conjunto de elementos técnicos, económicos, financieros y de organización que permite visualizar ventajas y desventajas económicas en la adquisición, instalación, construcción y operación de una planta. Es el plan prospectivo de una unidad de acción capaz de materializar algún aspecto del desarrollo económico y social.

En otras palabras, un proyecto surge a la hora de hacer lo necesario para hallar una respuesta eficaz a un problema, oportunidad o cuestión con base a información investigada.

### **2.1.1 Proyectos de Inversión**

Desde la perspectiva de la maestría de formulación y evaluación de proyectos, el factor dinero es indispensable para iniciar las ideas que se plantean y lo más importante que estas ideas den resultado positivo y generen ganancias.

Según Baca y Urbina (2013), un proyecto de inversión consiste en un plan que, si se le asigna determinado monto de capital conjunto con insumos necesarios, producirá un bien o servicio útil para la sociedad.

La formulación y evaluación de proyectos de inversión tiene su origen en el plan de negocios que crea un ideólogo empresarial con el objetivo de aprovechar una oportunidad de producir bienes y servicios que satisfagan necesidades o solucionen problemas. El proyecto de inversión es un proceso que consta de actividades específicas y tareas precisas que permiten obtener un documento estructurado y confiable. (Rodríguez, 2018).

Un rol muy importante es el del inversionista, ya que sin este no se podrían iniciar las ideas.

### **2.1.2 Formulación de proyectos**

La formulación de un proyecto se enfoca en los pasos a seguir para recabar y organizar toda la información del tema siempre orientada a alcanzar los objetivos planteados.

Para Sapag, Sapag, & Sapag (2008) el proceso de un proyecto reconoce cuatro grandes etapas secuenciales, las cuales son: idea, preinversión, inversión y operación.

Indicando que son periodos en que se divide el desarrollo del proceso, ya sea que el mismo proceso sea definido con un periodo de tiempo limitado o que sea de periodo indefinido.

Aguirre (2016), indica que la formulación conlleva varios estudios los cuales son: estudio de mercado, estudio técnico, estudio administrativo y estudio económico, estos estudios son similares en la etapa de prefactibilidad y factibilidad con la diferencia en que son de mayor profundidad en la etapa de factibilidad ya que en ellas también se definen las estrategias para la materialización del proyecto.

### **2.1.2.1 Aspectos Metodológicos para la formulación y evaluación de un proyecto**

Para Rodríguez, García, & Cárdenas (2008) a la hora de formular un proyecto se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos, esto para tener presente todas las variables que pueden afectar mi proyecto y así tener un mapa más claro y poder tomar las mejores decisiones posibles.

Entre los aspectos a tomar en cuenta se tienen los siguientes:

- a) **Análisis de estudio de Mercado:** en este estudio se toma en cuenta el análisis de oferta y demanda, en otras palabras, cantidad de clientes y cantidad de unidades a producir.
- b) **Análisis de estudio Legal:** ve todo lo relacionado a la legislación relacionada al tema, esto para detectar obstáculos legales o beneficios que podría tener el proyecto, el estudio también contempla la normativa interna de las empresas.
- c) **Análisis de estudio Económico:** esta determina la rentabilidad de la inversión, así como los costos proyectados y el retorno de la inversión.
- d) **Análisis de estudio Técnico:** En este estudio se presenta los aspectos fundamentales de la ingeniería, lo que se refiere a todo lo concerniente a la instalación y puesta en marcha de la planta.
- e) **Análisis de estudio de la Organización:** En este estudio se muestra la estructura organizativa y administrativa del proyecto.
- f) **Análisis del estudio de impacto ambiental:** este estudio consiste en identificar elementos que influyen en la protección o degradación del medio ambiente, así como las posibles alternativas y medidas de mitigación.

Baca y Urbina (2013) indica que aunque cada estudio de inversión es único y distinto a todos los demás, la metodología que se aplica en cada uno tiene la particularidad



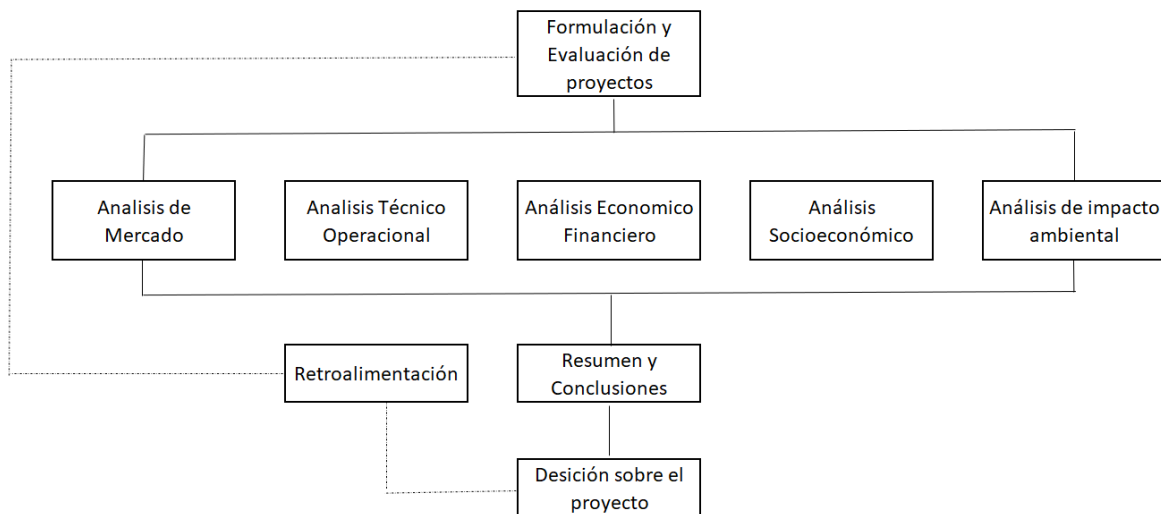
de adaptarse a cualquier proyecto. Las áreas generales en las que se aplica la metodología de la evaluación de proyectos son:

- a) Instalación de una planta totalmente nueva.
- b) Elaboración de un nuevo producto de una planta ya existente.
- c) Ampliación de la capacidad instalada o creación de sucursales.
- d) Sustitución de maquinaria por obsolescencia o capacidad insuficiente.

También es necesario comentar un aspecto importante a la hora de tomar la decisión, Baca y Urbina (2013) indica que independientemente de las técnicas de análisis empleadas en cada una de las partes de la metodología sirven para hacer una serie de determinaciones, tales como mercado insatisfecho, costos totales, rendimiento de la inversión, etc., esto no elimina la necesidad de tomar una decisión de tipo personal; es decir, el estudio no decide por sí mismo, sino que proporciona las bases para decidir, ya que hay situaciones de tipo intangible para las cuales no hay técnicas de evaluación y esto hace, en la mayoría de los problemas cotidianos, que la decisión final la tome una persona y no una metodología, a pesar de que ésta tenga aplicación generalizada.

La estructura general de la metodología de la evaluación de proyectos se representa a continuación:

**Figura 1. Estructura General de la Evaluación de proyectos**



**Fuente:** Baca Urbina, Evaluación de proyectos 7ma Ed. (2013).

### 2.1.3 Evaluación de proyectos

La evaluación es fundamental para ver el avance del proyecto y sobre todo esto es la medición del impacto que genera la idea, es recomendable hacer una evaluación antes, durante y después del proyecto con el fin de corregir aspectos que sean necesarios.

Para Sapag, & Sapag (2008) la evaluación del proyecto se entenderá como un instrumento que provee información a quien debe tomar decisiones de inversión.

El objetivo de la evaluación de un proyecto es determinar lo atractivo o viable que el proyecto es a la luz de diferentes criterios, los cuales determinan diversos tipos de evaluación, a saber: evaluación institucional, evaluación técnica, evaluación financiera, evaluación económica, evaluación social y evaluación ambiental. (Arboleda, 2001).

Para Baca y Urbina (2013), la evaluación de un proyecto de inversión, cualquiera que éste sea, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Sólo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa.

En otras palabras, es el medio por el cual se prepara y reúne información que les sirve a los interesados para poder ver de una forma clara el camino que se debe de seguir.

El manual sobre la formulación y evaluación de proyectos de Secretaria General de Planificación (SEGEPLAN, 2013) indica que los proyectos se categorizan en productivos y sociales y establece la metodología de evaluación para cada uno de ellos. Para los proyectos productivos la evaluación se realiza desde el punto de vista financiero por lo tanto los ingresos y los costos del proyecto se calculan en términos monetarios a los precios del mercado vigente utilizando indicadores como VAN, TIR, Beneficio / Costo y análisis de sensibilidad, también analiza aspectos como Costos de inversión, Costos de operación, Ingresos y Flujos de Fondo. Para proyectos sociales se recurrirá a efectuar evaluación económica social que consiste en realizar una comparación entre los recursos que se espera ser utilizados y los resultados esperados del mismo, con el propósito de determinar si dicho proyectos se adecuan a los fines u objetivos perseguidos y de esta manera, permita mejorar la asignación de recursos por parte de la sociedad.

Según el documento de Jaume (2009) como una guía práctica da los pasos que se necesitan para la evaluación de un proyecto los cuales son los siguientes:

Paso 1: Efectuar un análisis preliminar de la intervención.

Paso 2: Describir el Contexto institucional y organizativo: ¿Quién es Quién?

Paso 3: Cual es el propósito de la evaluación.

Paso 4: Identificar los destinatarios de la Evaluación.

Paso 5: Inventariar los recursos para la Evaluación.

Para Graterol (2010) citado por Córdoba (2011), la evaluación es la medición de factores concurrentes y coadyuvantes cuya naturaleza permite definir la factibilidad de ejecución del proyecto.

Estos pasos ayudan a recabar toda la información requerida para que el evaluador pueda comprender la situación actual del proyecto desde sus inicios y poder compararlo con los objetivos previstos al principio.

Como lo indica Córdoba (2011) La evaluación de un proyecto se fundamenta en la necesidad de establecer las técnicas para determinar lo que está sucediendo y cómo ha ocurrido y apuntar hacia lo que encierra el futuro si no se interviene, esto puede hacerse desde dos puntos de vista no opuestos, pero si distintos: el criterio privado y el criterio social. De la perspectiva que se tome en la evaluación dependerá la decisión que se tome sobre la realización del proyecto.

Si un proyecto de inversión privada (con fines de lucro) se diera a evaluar a dos grupos multidisciplinarios distintos, con seguridad que sus resultados no serían iguales. Esto se debe a que conforme avanza el estudio, las alternativas de selección son múltiples en el tamaño, la localización, el tipo de tecnología que se emplee, la organización, etc. Y en un proyecto de inversión social (no lucrativo) los resultados también serán distintos debido principalmente al enfoque que adopten en su evaluación, incluso pueden considerar que el proyecto en cuestión no es prioritario o necesario como pueden serlo otros. (Baca y Urbina, 2013).

**Figura 2. Diferencia entre evaluación Económica y Social**

<b>Evaluación económica</b>	<b>Evaluación Social</b>
Beneficios y costos son del dueño del proyecto.	Beneficios y costos para la sociedad.
Se maximiza el bienestar en forma privada.	Se maximiza el bienestar colectivo.
Se utilizan los precios de mercado de los bienes insumos.	Se utilizan los precios sociales a veces diferentes de los de mercado.
Los flujos están afectados a impuestos.	Mide el aporte al ingreso nacional y el ingreso nacional sacrificado.

**Fuente:** Córdoba Padilla Formulación y evaluación de proyectos (2011).

## 2.2 Energía

Para Delgadillo (2014), en su libro de Termodinámica, hay un común denominador en la definición de energía la cual es: “La capacidad que tiene un cuerpo o sistema para producir trabajo” (...) desde el punto de vista de la sociedad humana en general, y la ingeniería en lo particular, la definición no es tan inconsistente como parece, ya que el trabajo es a su vez una forma de energía, si no que lo más importante no es tanto la energía por sí misma, sino las posibilidades de transformarla en trabajo; lo importante, pues, es el trabajo.

Para Guerasimov citado en Delgadillo (2014), el movimiento es una propiedad inalienable (atributo) de la materia; es indestructible como la misma materia. El movimiento de la materia se manifiesta en diferentes maneras, las cuales pueden pasar de una a otra. La Energía es la medida del movimiento de la materia.

Uno de los primeros en indagar sobre la energía fue el extraordinario científico francés Antoine Laurent Lavoisier, quien sugirió en el siglo XVIII que el calor producido por los animales se debía a la combustión lenta de alimentos en su cuerpo. Lavoisier advirtió además que la combustión de la comida es menor en un ambiente caliente que en un ambiente frío. Al trabajo de Lavoisier se sumó el del médico alemán Robert Mayer, quien, ya conociendo un tratado de Lavoisier, durante un viaje en barco a los trópicos, en el que muchos tripulantes enfermaron y fueron tratados con sangrías, notó que la sangre venosa era casi tan roja como la arterial que tiene mucho oxígeno. Él consideró esto como una verificación de lo sugerido por Lavoisier: si en los trópicos el organismo consume menos alimento, también consume menos oxígeno. Mayer fue más allá de la teoría de Lavoisier y sugirió que en el cuerpo existe un balance perfecto de energía, es decir, la energía liberada por los alimentos se reparte entre la pérdida de calor y el trabajo que hace el organismo. Publicó un artículo en 1842 donde afirmaba: “Una vez que la fuerza (energía) existe, ésta no puede ser aniquilada, sólo puede cambiar su forma”. Es interesante que una ley fundamental haya sido sugerida a partir de observaciones de la fisiología humana. (Peña & Dreyfus, 1997).

1ª Ley de la termodinámica: La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.

Esta ley es una consecuencia del principio de la conservación de la energía y puede establecerse diciendo que el Calor puede ser transformado en trabajo mecánico, o, el trabajo mecánico puede ser transformado en calor, existiendo una relación constante entre la cantidad de calorías suministrada y el trabajo producido y viceversa”.

La energía aparece en diversas formas, como pueden ser la cinética, potencial, térmica, química, electromagnética o luminosa, eléctrica, la inherente a la masa, etc. La forma más común en que aparece la energía es la electricidad. La corriente eléctrica es un flujo ordenado de electrones. Este flujo se produce con suma

facilidad en los materiales denominados conductores, que se caracterizan por ofrecer una muy baja resistencia a dicho flujo. Los mejores conductores son los metales, que están formados por cristales donde los átomos están unidos entre sí por medio del enlace metálico. (González, 2012).

De acuerdo con la teoría de la relatividad de “Einstein” la cual ha venido a modificar la teoría “Newtoniana” de la gravitación universal, la relación entre la masa y la energía es la siguiente.

Energía = Masa x (Velocidad de la Luz)<sup>2</sup>

$$E = m c^2$$

$$E = \frac{W_m C^2}{g_c}$$

Donde “c” es la velocidad de la luz que es igual a 299,860 km/seg y “m” es masa equivalente a w/g en donde el peso de un cuerpo “w” queda determinado por la multiplicación entre la **masa** y la **aceleración de la gravedad** “g”. (Alvarado, 2008).

La energía de un sistema de cuerpos es resultado de la suma de las diferentes formas de energía de los cuerpos que constituyen el sistema, tales formas de energía son las siguientes:

$E_p$  = Energía Mecánica (potencial)

$E_c$  = Energía Mecánica (Cinética)} es la que genera el viento por su movimiento.

$U$  = Energía Interna

1)  $T$  = Trabajo

2)  $T_c$  = Trabajo de circulación ó Energía de circulación

3)  $T_f$  ó  $(P \times V)$  = Trabajo de Flujo ó energía de flujo

$Q$  = Energía Térmica ó Calor

Específicamente la energía eólica se beneficia de la energía cinética del viento que se convierte en energía mecánica del rotor que, a su vez, es convertida en energía eléctrica por el electromagnetismo.

### 2.2.1 Unidades de medida de la energía

En las discusiones sobre transformaciones energéticas aparece el término energía primaria. Se denomina energía primaria a la que se extrae directamente de los yacimientos sin ser sometida a ningún tipo de transformación. En muchas ocasiones, las cantidades de energía primaria se expresan en barriles equivalentes de petróleo “bep” o en toneladas equivalentes de petróleo “tep” con lo que se pretende dar a entender la energía producida en la combustión de un barril o de una tonelada de ese combustible fósil. Un barril de petróleo equivale a una capacidad aproximada de 160 litros, los cuales se transforman en una masa de 137 kg. (González, 2012).

**Tabla 2. Factores de conversión de diferentes unidades energéticas**

	MJ	kcal	GJ	kwh	Tep	Tec (*)	Btu
MJ	1	239	10 <sup>-3</sup>	0.28	24 x 10 <sup>-6</sup>	36 x 10 <sup>-6</sup>	947.82
kcal	4.18 x 10 <sup>-3</sup>	1	4.18 x 10 <sup>-6</sup>	1.16 x 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-7</sup>	1.49 x 10 <sup>-7</sup>	3.968
GJ	1000	239000	1	278.0	0.024	0.036	9.5 x 10 <sup>5</sup>
kwh	3.6	860	0.0036	1	86 x 10 <sup>-6</sup>	0.13 x 10 <sup>-3</sup>	3413
Tep	42000	10 <sup>7</sup>	42	11700.0	1	1.5	3.981 x 10 <sup>7</sup>
Tec (*)	28000	6.69 x 10 <sup>6</sup>	28	7800.0	0.67	1	2.654 x 10 <sup>7</sup>
Btu	1.055 x 10 <sup>-3</sup>	0.252	1.055 x 10 <sup>-6</sup>	2.93 x 10 <sup>-4</sup>	2.51 x 10 <sup>-8</sup>	3.768 x 10 <sup>-8</sup>	1

**Fuente:** González Velasco, Energías renovables (2012).

Tep = tonelada equivalente de petróleo, kwh = Kilovatio por hora, Btu = Unidad termica Britanica, MJ = megajoule, GJ = Gigajoule, kcal = Kilocaloria

(\*) Tec indica una energía equivalente a la producida por combustión de una tonelada de carbón. Es una cifra media, aceptada internacionalmente, pero que puede ser ligeramente diferente según la composición del carbón de que se trate.



### 2.2.2 Energía Mecánica (Potencial y Cinética)

De acuerdo con Alvarado (2008) la energía mecánica potencial ( $E_p$ ) es la energía que posee un cuerpo, debido a su posición o elevación, con respecto a un punto determinado.

La fórmula de la energía potencial es:

$$E_p = mgh$$

Donde:  $m$  = masa del objeto (kg);  $g$  = aceleración de gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ); y  $h$  = altura en metros (m).

Y la energía mecánica Cinética ( $E_c$ ) es la energía de un cuerpo en movimiento en virtud de su masa y de la velocidad que posee, o sea, debido a su cambio de posición o movimiento.

La fórmula de la energía cinética:

$$E_c = \frac{m v^2}{2}$$

Donde:  $m$  = masa del objeto en (kg) y  $V$  = velocidad (m/s).

### 2.2.3 Energía Electromagnética

El electromagnetismo es una rama de la física que se dedica al estudio de los fenómenos provocados por el magnetismo generado por la corriente eléctrica o la corriente eléctrica generado por el magnetismo. Un campo magnético se define como la región del espacio que rodea una masa magnética, que puede ser un imán natural o un conductor donde circula una corriente eléctrica. (Vega & Vega, 2014).

En 1860 James Clerk Maxwell reunió y completo los resultados experimentales, de Oersted, Gauss, Coulomb, Ampère, Faraday y otros, sintetizando la teoría eléctrica y magnética a un sistema de 4 ecuaciones (originalmente 20). En particular, estas

ecuaciones predicen que los campos eléctricos variables generan campos magnéticos y que, recíprocamente, los campos magnéticos variables inducen corrientes eléctricas. (Selgas, 2006).

#### **2.2.4 Energía Renovable**

Cuando la energía que se consigue es a través de fuentes naturales que son inagotables se denomina energía renovable. Son inagotables bien porque contienen gran cantidad de energía o bien porque son capaces de regenerarse por medios naturales. (Galdiano, 2016).

Según el Centro de Terminología de Catalunya citado por Jarauta (2015) en su libro indica que la energía renovable es aquella energía que se obtiene de fuentes inagotables o que se pueden renovar. Las principales fuentes de energía renovables son la energía hidroeléctrica, la energía eólica, la biomasa, la energía solar, la energía geotérmica y la energía del mar.

En muchos lugares a las energías alternativas se les denomina energías renovables. El nombre de energías alternativas tiene un significado ideológico, el del proyecto de dejar de utilizar un tipo de energía y utilizar otras formas que parece mejor para la salud o para el medioambiente. El nombre de “energías renovables” tiene un sentido físico; aunque parezca que la energía solar y eólica es siempre constante, no es así, esto depende de la energía que manda el sol y la energía eólica depende del viento por tal razón no es la misma todos los días. (Dominguez, 2008).

En una primera aproximación, la sostenibilidad es el principio marco de un modelo de sociedad que toma en consideración los imperativos ecológicos de nuestro tiempo, mientras que el desarrollo sostenible constituye uno de los principios rectores de la actual política medioambiental y responde a la preocupación de buscar respuestas políticas que compatibilicen el crecimiento económico con la escasez de los recursos naturales. En consecuencia, la sostenibilidad implica un

giro radical y una visión transformadora de la política y de la sociedad mientras que el desarrollo sostenible implica una reorientación de nuestro modelo de desarrollo económico que no determina obligatoriamente una alteración fundamental del statu quo (Valencia, 2014).

### **2.2.5 Energía Eólica**

Es la capacidad que tiene el viento o todo lo relacionado a él para producir trabajo en forma de movimiento para la generación de energía. Según Creus Solé (2008) Los cinturones de presión son de calor provocados por la radiación solar al calentar por convección el ecuador. Allí el aire asciende y se enfría y descendería en el Polo Norte si no fuera por la fuerza de Coriolis, que actúa provocando el descenso en el paralelo 30°. De forma análoga, en los polos el aire frío desciende, recoge calor y asciende nuevamente hacia el paralelo 60°. De este modo, se forman zonas de presiones bajas (entre 60°N y 60°S), zonas de presiones altas (entre 30°N y 30°S), y el cinturón ecuatorial de bajas presiones los cuales son influidos por los vientos y por la rotación de la tierra.

Para Vega & Ramírez (2014), la energía eólica es la energía del viento que se debe al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre.

La energía eólica es otro tipo de fuente renovable ya que se aprovecha la velocidad de las grandes corrientes de aire. El viento depende, a nivel macroscópico, de las corrientes de aire globales y de los cambios de temperatura anuales de la Tierra. (Jarauta, 2015).

**Figura 3. Ventajas y desventajas de la energía eólica**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Fuente de energía segura y renovable.	Incapacidad de asegurar un suministro de energía regular o permanente.
No produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, con la excepción de los producidos en la fabricación de los equipos y del aceite del multiplicador.	Impacto visual, ya que se instalan en los lugares donde la velocidad del viento es alta (colinas, crestas, montañas y costas), lo que cambia el paisaje.
ahorra la emisión de importantes cantidades de CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> a la atmósfera	importante impacto sobre la flora y la fauna (migración y nidificación).
El tiempo de construcción es rápido.	Impacto sonoro por generación de un ruido de baja frecuencia de bajo nivel sonoro, pero constante.
Instalaciones compatibles con otros usos del suelo.	Destellos por reflexión de los rayos del sol sobre las palas de la turbina.
La instalación es fácil de desmontar y se recupera rápidamente la zona natural utilizada.	Parpadeo (flicker) por sombra de las palas sobre las casas con el Sol detrás
instalaciones en tierra y en el mar.	caída de hielo de las palas en climas con nevadas importantes.
Beneficio económico para los municipios afectados.	Riesgo de rotura (muy remoto).

Ventajas	Desventajas
Generación de empleo en la operación y mantenimiento (450 personas por TWh/año, o 6 personas por MW)	Caída de rayos.
Primas e incentivos.	Efectos electronagnéticos e interferencias electromagnéticas (limitados).
Líneas de financiación.	Afectación de las operaciones de aviación (radar).

**Fuente:** Creus Solé, Energías renovables (2008).

### 2.3 Electricidad

Proviene del griego elektron que significa Ámbar, es un fenómeno físico que presenta su origen en las cargas eléctricas y que se manifiestan en fenómenos térmicos (estufas, hornos), mecánicos (motores eléctricos), luminosos (luz), y químicos (cargadores de pilas, electrolisis) entre otros. (Arboledas, 2014).

Electricidad es la energía originada por la excitación y movimiento de los electrones de determinados cuerpos. Los electrones son pequeñas partículas de electricidad que dan origen a una corriente eléctrica, al movimiento de todas esas partículas se conoce como corriente eléctrica. La energía eléctrica no se puede fabricar, sino que es el resultado de un proceso de transformación de otra forma de energía, es decir, la energía ni se crea ni se destruye, simplemente se transforma. (Perez, 2012).

### **2.3.1 Circuito eléctrico**

Para Arboledas (2014) un circuito eléctrico es un conjunto de elementos conectados de manera que proporcionan al menos un camino cerrado que permite la circulación de los electrones para realizar un trabajo. Existen tres elementos básicos que deben de existir en todo circuito, un generador que suministre la tensión necesaria para que se dé una corriente eléctrica, un elemento conductor de la corriente eléctrica, que lleva los electrones desde un extremo de la fuente de voltaje hasta el otro y uno o varios elementos receptores, que se encargan de convertir la energía eléctrica en otra forma de energía o de transformar una señal eléctrica de un tipo a otro.

### **2.3.2 Voltaje**

Los generadores, sean de corriente continua o alterna, suministran la fuerza o voltaje necesaria para impulsar a los electrones que forman la corriente eléctrica a lo largo de un circuito, la unidad de medida del voltaje es el Voltio (V). (Arboledas, 2014).

### **2.3.3 Corriente eléctrica**

Es la circulación de electrones a través de un elemento conductor, la unidad de intensidad de corriente es el Amperaje (A), ósea que mientras más carga se mueva, más corriente eléctrica estará circulando por el elemento conductor. (Arboledas, 2014).

### **2.3.4 Potencia**

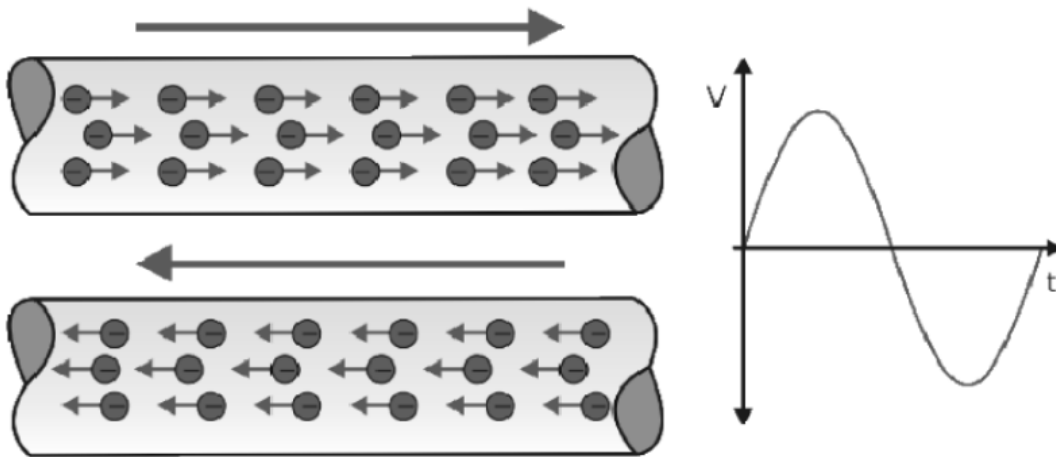
Vatio o Watt (W) es la unidad de potencia del sistema internacional de unidades, equivale a un joule por segundo (1J/s) es la potencia producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA). Es decir, la energía liberada o absorbida por unidad de tiempo. (Arboledas, 2014).

### 2.3.5 Tipos de Corriente eléctrica

La corriente continua (CC) y la corriente alterna (CA) son las dos formas de energía con las que se alimentan los circuitos eléctricos y electrónicos, ambas formas de energía se diferencian en cómo varían en el tiempo la tensión, incluyendo su polaridad y sentido de la corriente. La Corriente continua se caracteriza por el hecho de que siempre circula en el mismo sentido y su tensión presenta la misma polaridad. La corriente alterna, sin embargo, cambia alternativamente de sentido, al igual que su voltaje de polaridad. (Arboledas, 2014).

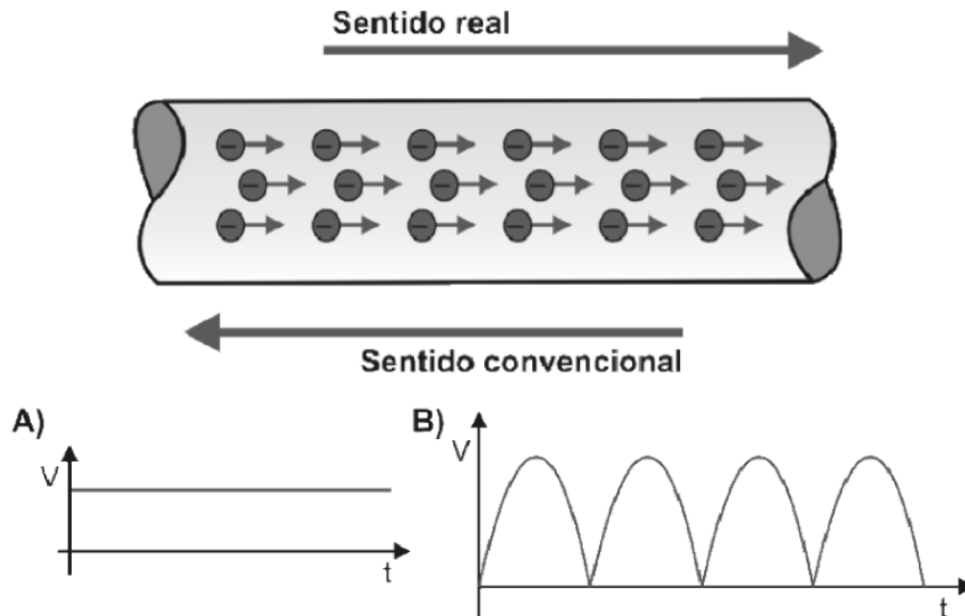
La tensión que llega a los enchufes de nuestras casas es alterna, es por lo que la inmensa mayoría de aparatos y maquinarias que funcionan con electricidad son de corriente alterna, en cambio las que proporcionan pilas o baterías son continuas. (Arboledas, 2014).

**Figura 4. Ilustración del concepto de corriente alterna**



**Fuente:** libro de David Arboledas, Electricidad básica. 2014.

**Figura 5. A) Corriente constante en tensión y B) Corriente variable (pulsante) en tensión, pero constante en polaridad.**



**Fuente:** libro de David Arboledas, Electricidad básica. 2014.

## 2.4 Parque Eólico

Según Vega & Ramírez (2014), un parque eólico es una agrupación de aerogeneradores dispuestos en un terreno apropiado o en una zona marina próxima a la costa.

Una gran instalación consta de varias decenas de aerogeneradores, de la misma potencia o no, distribuidos según las condiciones locales del viento, que se han proyectado para trabajar a barlovento (de "cara" al viento) y requieren un sistema de control de orientación del bastidor y de las palas (si son variables), o a sotavento (de "espalda" al viento), sin necesidad de tal control. (Creus, 2008).

Para Galdiano (2016), un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina eólica accionada por el viento. Al pasar el viento por las hélices se producen los siguientes efectos: Fuerza directa ( $F_d$ ) en línea con la velocidad del viento,



Fuerza latera ( $F_1$ ) perpendicular a la fuerza directa, movimiento de rotación del aire al circular por la pala, Turbulencia del viento debido al movimiento de la pala y efecto solidario del movimiento de las palas con la corriente de aire. El generador que ha alcanzado el mayor rendimiento de captación energética del viento ha sido el aerogenerador de Eje Horizontal tripala.

Para Requena (2012) los aerogenerados se pueden clasificar según la potencia nominal. En función de las características y del uso se pueden agrupar en pequeños las cuales son aerogeneradores de hasta 100 KW y con un diámetro del rotor entre 6 y 20 m. se suelen utilizar en lugares que necesiten una baja potencia eléctrica; medianos los cuales tienen una potencia nominal entre los 100 KW y 1MW, con diámetros entre 20 y 50 m y; grandes que va la potencia de 1MW hasta 10 MW con un diámetro de rotor superando los 50 m hasta 120 m.

#### **2.4.1 El transporte de la Electricidad**

El transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico que está constituida por todos los elementos necesarios para llevar energía eléctrica generada en las centrales eléctricas hasta los puntos de consumo y como es lógico, ha de ser capaz de cubrir grandes distancias. Una parte fundamental de la red de transporte eléctrica son las líneas de transporte denominada línea de alta tensión, constituida por elementos conductores normalmente cables de cobre o aluminio, todo esto sostenido por torres de transmisión, torres de amarre y torres de suspensión. (Requena, 2012).

##### **2.4.1.1 Agentes transportistas de la electricidad**

Dentro del territorio nacional existe una red de transmisión llamada Sistema Nacional interconectado (SNI) el cual está conformado por empresas públicas y privadas que dan el servicio de transmisión de la electricidad.

Según la dirección general de Electricidad (2020) la red de transmisión del país está conformada de la siguiente forma:

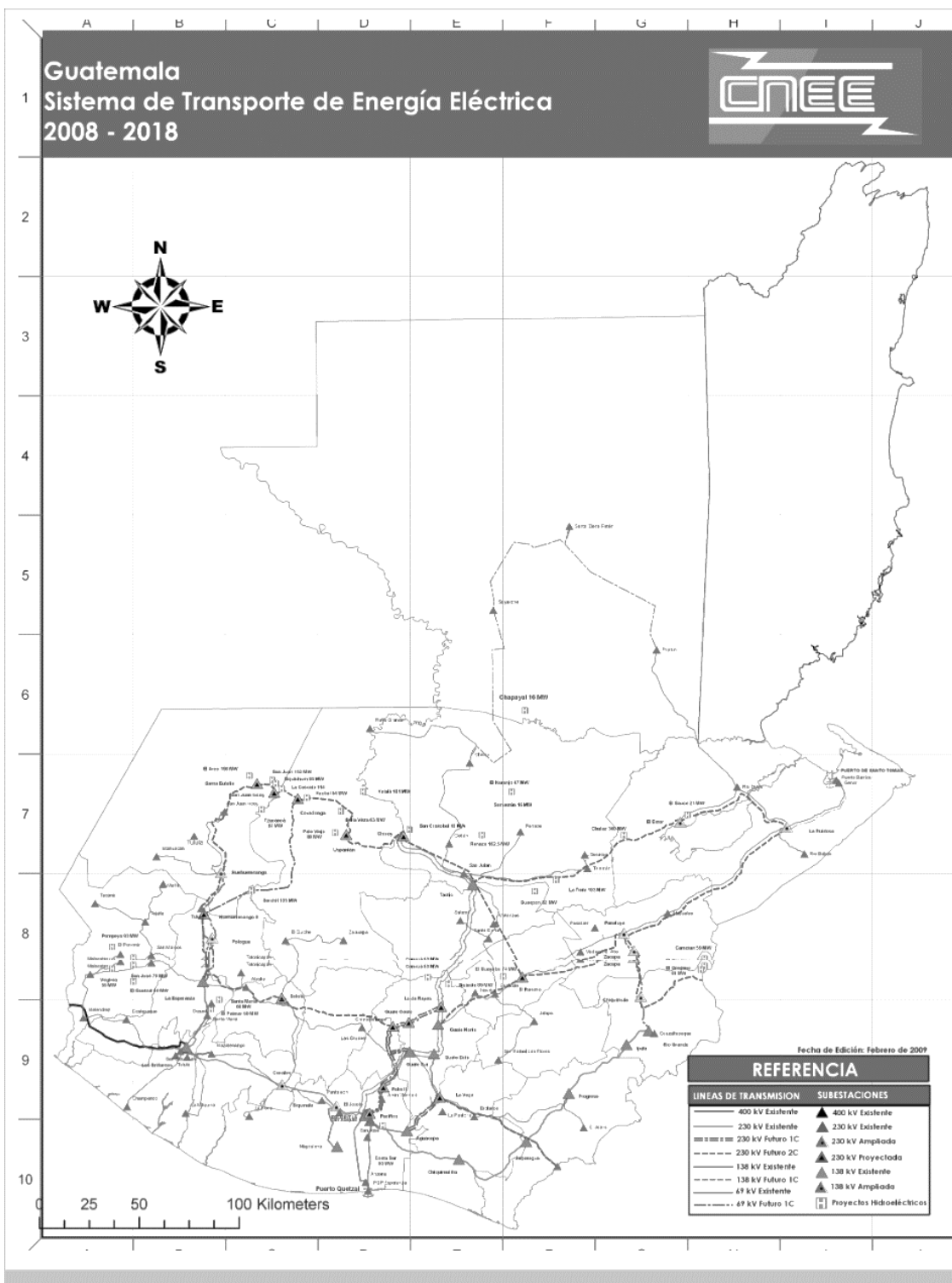
**Tabla 3. Longitud de líneas de transmisión por nivel de tensión y propietario**

Propietario	400kV	230kV	138kV	69kV	Total km
TREO			131.8		131.8
TRELEC		61		948.42	1,009.42
TRANSNOVA		32			32
ETCEE	71.15	761.3	399.07	2,223.13	3,454.65
APR	361.47				361.47
DUKE		32			32
RECSA				31.48	31.48
TRECSA		384			
				<b>Gran Total</b>	<b>5,052.82</b>

**Fuente:** Planes indicativos de Generación y transmisión del Ministerio de Energía y Minas (2017).

Se puede observar el mapa de la red de transmisión nacional y como está constituida con redes de diferentes voltajes, observando que la red de 69 KV es la que abarca mayor territorio en el país seguida por la de 230 kv.

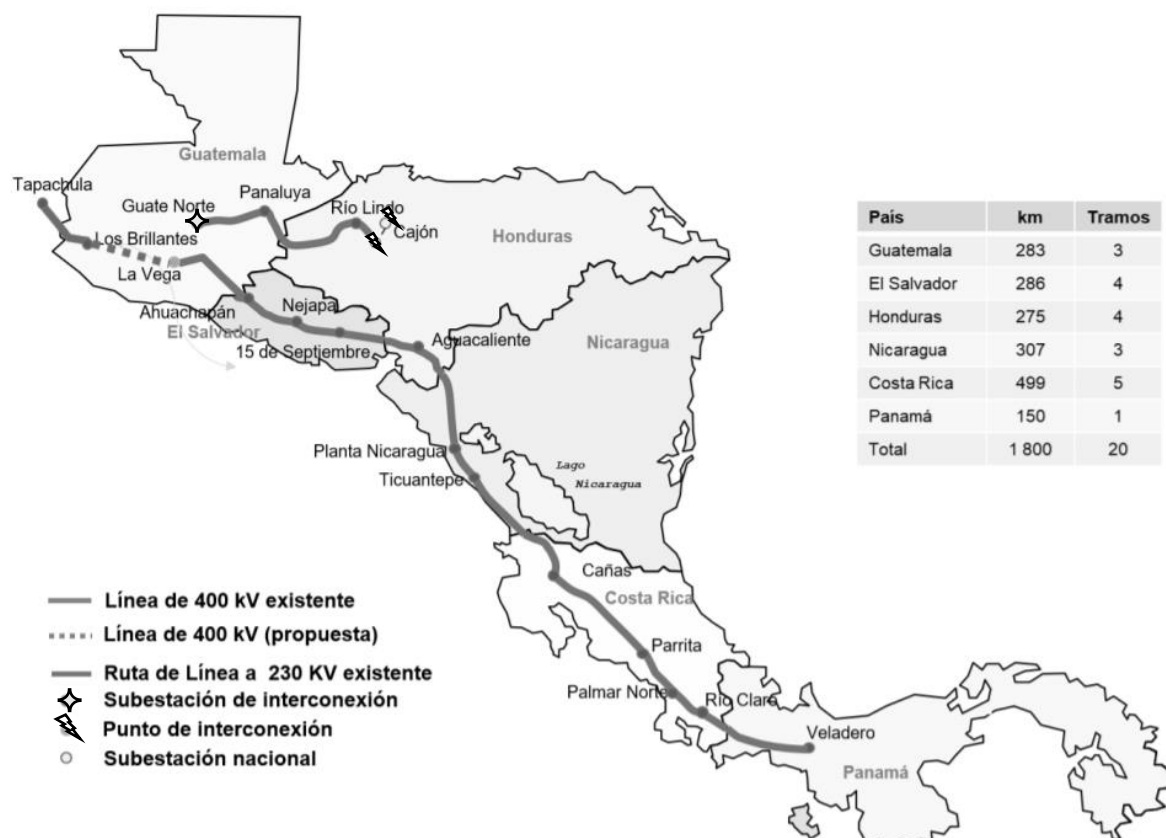
Figura 6. Distribución de la red de transmisión



Fuente: Comisión nacional de energía eléctrica (2018).

Así mismo se puede observar la red de transmisión regional con su respectivo voltaje.

**Figura 7. Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC)**



**Fuente:** Informe Evaluación de escenarios para la formulación de la estrategia Energética sustentable SICA 2030. (2019).

#### 2.4.2 Principales barreras al desarrollo de la Energía eólica

El desarrollo de la energía eólica en América Central ha estado limitado, no por la disponibilidad del recurso “viento” en la región, sino por una serie de obstáculos o barreras externas que se pueden considerar comunes en todos los países.

El informe de Biomass Users Network (BUN-CA, 2002), indica que las barreras principales se pueden resumir en las siguientes categorías:

- a) Barreras de información
- b) Barreras financieras
- c) Barreras tecnológicas
- d) Barreras de mercado.

En la barrera de información el informe indica que en la región hay un gran desconocimiento sobre las oportunidades de la energía eólica, entre las agencias estatales, gobiernos locales, universidades y comunidades rurales, así como la inexistencia de mapas de viento que puedan orientar al inversionista para ver el mejor potencial.

Como barreras financieras se indican las siguientes: Altos costos iniciales, la falta de acceso a financiamiento por el tiempo relativamente largo y el costo alto, Riesgos de inversión por la falta de estudios detallados sobre las características del viento en la región y la estabilidad de los niveles de los precios de venta ya que los países centroamericanos se encuentran en movimiento hacia mercados abiertos en lo que es sector eléctrico.

En la barrera tecnológica se indica que es la viabilidad del viento, no se puede disponer de la energía cuando se necesite, así también la falta de experiencia por parte de los centros de despacho sobre el manejo de la energía producida por los parques eólicos el cual toda esta barrera se puede superar mediante el entrenamiento del personal.

Y por último la barrera del mercado indica que un mercado abierto los precios están sujetos a variaciones y esto puede generar que los ingresos no justifiquen inversiones futuras en parques eólicos.

### **2.4.3 Las etapas de un proyecto de un parque eólico**

Según Eólico San Antonio El sitio (2019) en su sitio web entre las principales etapas que se deben de tomar en cuenta para la creación de un parque eólico son las siguientes:

#### **2.4.3.1 Preinversión**

Elaboración de estudios para la obtención de permisos para la construcción del proyecto, entre estos permisos se tienen: Ambientales, de Viento, Topografía, Mecánica de suelo, otros.

##### **a) Características del viento**

Como lo indica Talayero & Telmo (2011) para poder caracterizar el comportamiento aleatorio del viento se recurre a herramientas estadísticas, como por ejemplo, la distribución de frecuencia por intervalos de velocidad.

La medición de las velocidades del viento usando un anemómetro de cazoletas. El anemómetro de cazoletas tiene un eje vertical y tres cazoletas que capturan el viento, separados por ángulos de  $120^\circ$ . Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad. El número de revoluciones por segundo son registradas electrónicamente. Normalmente, el anemómetro está provisto de una veleta para detectar la dirección del viento. En lugar de cazoletas el anemómetro puede estar equipado con hélices. Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o anemómetros provistos de láser que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas de aire. Es muy importante en la medición para este tipo de proyectos los anemómetros de calidad, ya que de ellos depende en gran parte el éxito de un estudio anemométrico. (Fernández, 2008).

También conviene tener presente que normalmente los anemómetros con los que se realizan las mediciones son de registro volumétrico y

consecuentemente no miden el peso del volumen de aire que penetra en ellos, sólo su velocidad. Por esa misma razón en los emplazamientos que reciben una importante fluometría, para la misma velocidad, cuando llueve se consiguen potencias superiores que cuando el viento es seco. En ocasiones se consiguen potencias de hasta un 15% superiores cuando el viento va acompañado de lluvia. Pero puede suceder lo contrario cuando el viento es simplemente húmedo, ya que el vapor de agua pesa menos que el aire. (Escudero, 2004).

### **b) Características del Suelo**

Para Fernández (2008) el lugar de emplazamiento puede cumplir con características del suelo para potenciar el recurso eólico del sitio, entre los cuales se tiene el efecto túnel, el cual consiste en que el viento que pasa entre dos montañas o dos objetos tiene una mayor potencia que la que pasa por encima de estas, el efecto colina consiste en que en la cima de las colinas se aprecia velocidades de viento superiores a la de las áreas circundantes y se pueden aprovechar las colinas de gran extensión para establecer el emplazamiento del proyecto, por otro lado no debe de haber obstáculos sólidos que cambien la potencialidad del viento, por ejemplo, edificaciones o barreras de árboles cercanos con follaje abundante, el efecto de frenado que causan estas barreras es más fuerte cerca del objeto y cerca del suelo, y va disminuyendo a alturas más altas.

### **c) Características del acceso**

Para Bolloré Logistics (2019) a la hora de planificar de traslado de los componentes de los aerogeneradores se debe de revisar a lo largo de toda la trayectoria obras civiles, arboles, señales de tránsito, barreras peatonales y tendido eléctrico las cuales se devuelven a su posición original una vez ya transportados todos los componentes. Todo el traslado se hace por la

madrugada para minimizar al máximo el impacto negativo en las comunidades y asegurar el correcto desarrollo de la acción ya que los camiones circulan por algunos puntos críticos los cuales se necesitan que estén lo más despejado posible.

El transporte de estos componentes es contratado por el proveedor del aerogenerador y debe ser realizado por una empresa de trayectoria en logística de energía renovable de alta carga y trabajar en condiciones de poco espacio, así como cumplir con las medidas de seguridad necesarias para cuidar la integridad de los habitantes del trayecto, proteger el ambiente y garantizar la seguridad de los trabajadores del proyecto.

#### **d) Aspectos de Gestión y negociación de Territorio**

Un parque eólico precisa de una gran superficie para su implantación, esta superficie determina fundamentalmente la potencia instalada y la potencia unitaria de las máquinas que se utilicen. Del total de superficie ocupada por los aerogeneradores la zona afectada por el emplazamiento es muy pequeña. (Escudero, 2004).

En el mercado eólico se pueden encontrar modelos de contratos muy variados, siendo unos extraordinariamente simples permitiendo una gran flexibilidad al promotor, puesto que los adapta a las condiciones cambiantes del mercado según le conviene y otros terriblemente complejos en el cual los propietarios no disponen de los conocimientos ni del asesoramiento necesario para estar a la altura de la situación. Cada empresa, en el uso de su libertad de actuación y dentro de la legalidad, puede contratar con su mejor criterio en la búsqueda de una mejor posición respecto de la competencia, protegiendo sus intereses en el futuro negocio y presentar un poco más de atención a los propietarios para que se sientan cómodos y no producir ninguna tensión. (Escudero, 2004).



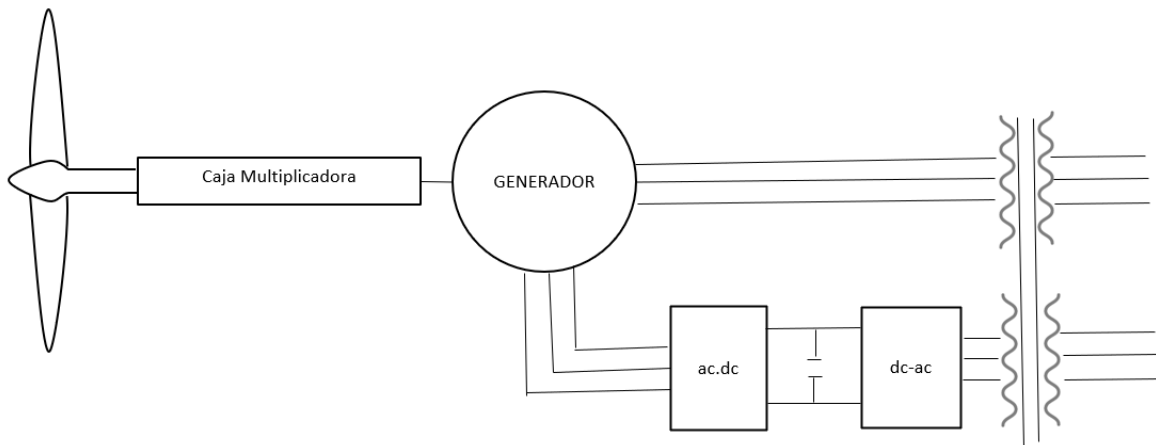
La vida útil de una instalación eólica será de entre 20 y 25 años, precisándose un mínimo de uno o dos años de mediaciones y nunca menos de otros dos años hasta conseguir las autorizaciones. Por estas razones los contratos de los terrenos se formalizan para periodos de unos 25 a 30 años, revisables por periodos de igual duración o revisables a cada 5 años y ocasionalmente se encuentran en el mercado contratos formalizados para periodos de 50 años. (Escudero, 2004).

### **e) Características de los equipos**

La elección de un aerogenerador u otro es más importante de lo que puede parecer en un primer momento, aunque se tome siempre como referencia una central de 20 MW de potencia instalada, la energía que se generará no será la misma y dependerá de las características de estos modelos. Una vez que se predican los datos futuros de las velocidades del viento, estos deben ser llevados a la altura de trabajo del aerogenerador, que será diferente para cada modelo. La altura influye positivamente en los resultados, ya que provoca un aumento en la velocidad según la ley de Hellman, después las velocidades se pasan a potencias a través de las curvas de viento-potencia características de cada aerogenerador, por lo que los resultados obtenidos dependerán de esta curva mayoritariamente. A la hora de determinar las características del equipo se necesita conocer ciertos criterios como datos del proveedor, el precio, superficie disponible y la curva de potencia. (Universidad de Sevilla, 2011).

Los dos aerogeneradores más utilizados en la actualidad son los de tipo 3 llamado de velocidad variable con conversión parcial y tipo 4 llamado Aerogenerador de velocidad variable con conversión total.

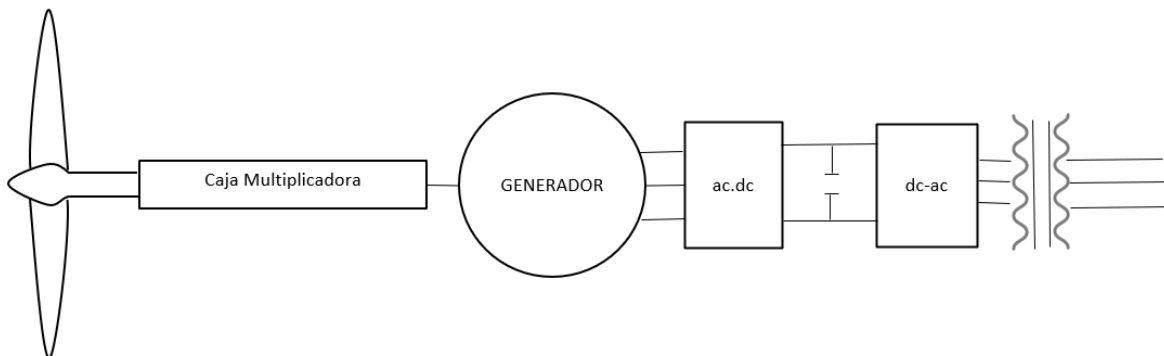
**Figura 8. Aerogenerador tipo 3: De velocidad variable con conversión parcial**



**Fuente:** Canal de YouTube, Sígueme la Corriente ¿Cómo funcionan los aerogeneradores? Tipos, Componentes y Características (2020).

Este tipo de sistema tiene un generador de inducción doblemente alimentado añadiendo al circuito del rotor un convertidor de potencia unidireccional que pasa de alterna a continua y luego de continua a alterna con el objeto de tener control de la energía que se genera y de cómo es la onda de energía que se inyecta al sistema y por último se conecta al transformador elevador el cual inyecta la energía al sistema Nacional Interconectado.

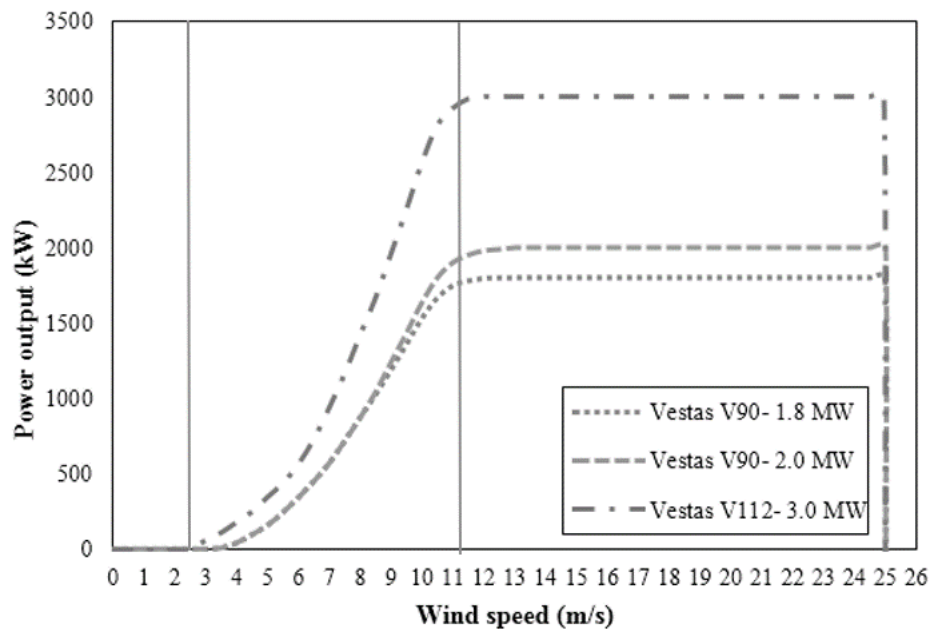
**Figura 9. Aerogenerador tipo 4: De velocidad variable con conversión total**



**Fuente:** Canal de YouTube, Sígueme la Corriente ¿Cómo funcionan los aerogeneradores? Tipos, Componentes y Características (2020).

Este tipo de sistema tiene un convertidor de onda completa conectado directamente al circuito afectando no solamente a la energía del rotor si no que a toda la energía que produce el aerogenerador construyéndose una interfaz completa entre el sistema eléctrico y la maquina eléctrica.

**Figura 10. Wind power curve de aerogenerador Vestas**



**Fuente:** Información obtenida de (Vestas, 2020)

La curva de potencia del viento (wind power curve) de un aerogenerador Vestas de tres diferentes potencias indica que empiezan a funcionar a una velocidad entre los 2.5 a 3 m/s llamada velocidad de arranque y llegando a su velocidad nominal que permite al aerogenerador trabajar en normalidad que es en velocidades de 11.5 m/s, la velocidad de parada es cuando los vientos son mayores a 25 m/s en el cual el aerogenerador es obligado a parar activando automáticamente el sistema de frenado, esto con el objetivo de prevenir daños en el equipo y accidentes en el área.

La (IEC/ISO 61400-1) indica que los aerogeneradores se clasifican de la siguiente manera según la clase de Viento y atendiendo la seguridad por diseño.

**Tabla 4. Clasificación de los aerogeneradores según el tipo de viento**

Clases	I	II	III	IV	S
$V_{ref}$ (m/s)	50	42.5	37.5	30	Valores que deben ser especificados por el diseñador
$V_{pro}$ (m/s)	10	8.5	7.5	6	
A $I_{15}$ (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	
a(-)	2	2	2	2	
B $I_{15}$ (-)	0.16	0.16	0.16	0.16	
a(-)	3	3	3	3	

**Fuente:** Ensayo de funcionamiento y seguridad según norma (UNE-EN 61400-2:2015).

$V_{ref}$ : Velocidad máxima en 10 minutos con período de retorno de 50 años (C. Rotor).

$V_{pro}$ : Velocidad promedio anual a la altura del centro del rotor.

A y B: Categoría para características de turbulencia alta y turbulencia baja.

$I_{15}$ : Valor característico de la intensidad de turbulencia a 15 m/s.

a: Parámetro usado para cálculo de desviación estándar en el modelo normal de turbulencia.

Todo este estudio se les entrega a los diferentes proveedores de los aerogeneradores para que ellos decidan si venden la maquinaria, ya que ellos deben de velar por el prestigio de la marca y cerciorarse que los aerogeneradores van a ser productivos y la empresa tenga los ingresos necesarios para poder cancelar la deuda.

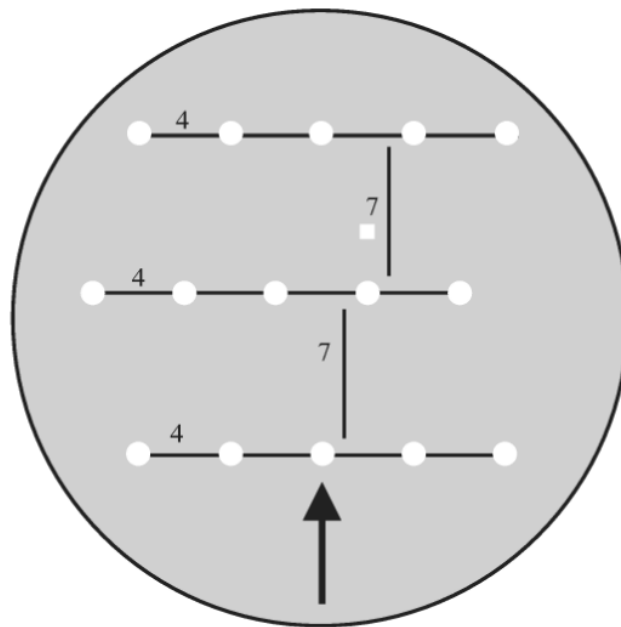
#### **f) Tamaño del Proyecto**

El tamaño del proyecto puede variar ya que depende esencialmente de la extensión de terreno que se logre negociar y el recurso eólico que se encuentre en el lugar.

En el parque eólico que se encuentra cerca del lugar llamado San Antonio el Sitio los aerogeneradores están colocados a una distancia de línea recta promedio de 325 mt uno del otro, tiene instalado 16 aerogeneradores de 3.3 MW de potencia sumando un total instalado de 52.8 MW, abarcando un territorio de 157.50 hectáreas aproximadamente, esto equivale a 313.75 mt<sup>2</sup> por aerogenerador. (Eólico San Antonio El sitio, 2019).

Como lo indica Talayero & Telmo (2011), las distancias entre turbinas está cobrando más relevancia a medida que se construyen maquinas más grandes, ya que, a medida que se incrementa el tamaño de las estructuras, los problemas de fatiga, afecciones por turbulencia y esfuerzos probocados por el viento se multiplican. Por tanto, se recomienda que se respete una distancia de, por lo menos, tres o cuatro diámetros de rotor entre aerogeneradores de la misma fila (dirección perpendicular a la dirección principal del viento) y de, al menos, cinco (incluso siete si la rosa del viento es muy direccional) diámetros de rotor entre fila. Recomendando llegar a 10 diámetros.

**Figura 11. Ejemplo de diseño de parque eólico. Dirección principal de viento Sur.**



**Fuente:** Obtenido de Talayero & Telmo (2011),

#### **f) Caminos internos**

La ubicación de los caminos es esencial para garantizar la sostenibilidad propia del camino, evitando excesos de costos en su construcción, determinando los mejores accesos a las zonas carentes de accesos, y a la vez, minimizando la distancia de recorrido entre los puntos de destino. (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y ambiente, 2013).

#### **2.4.3.2 Inversión**

Durante esta etapa se lleva a cabo el transporte, obras de caminos internos, instalación de aerogeneradores, línea de transmisión y subestaciones.

Concluye una vez que el parque empieza operaciones el tiempo aproximado: 12 meses. (Eólico San Antonio El sitio, 2019).

#### **2.4.3.3 Operación**

El parque empieza a generar energía eléctrica, en esta etapa ya no se observan obras o tránsito de equipos. (Eólico San Antonio El sitio, 2019).

#### **2.4.4 Área requerida para las turbinas eléctricas**

Para Sciencing (2020), las distancias en este caso se expresan en diámetros de rotor. La regla general para el espaciado de parques eólicos es que las turbinas están a unos 7 diámetros de rotor una de la otra. Por lo tanto, un rotor de 80 metros (262 pies) necesitaría estar a 560 metros (más de un tercio de milla) de las turbinas adyacentes.

Según Turbinesinfo (2020), para evitar interferencias innecesarias en turbinas extremadamente grandes, por supuesto, se necesita un área más grande. Requiere 10 mt. de diámetros de espacio del rotor con respecto a la dirección del viento y 3 diámetros más para el resto de la dirección. Con varias turbinas alineadas que tienen un ángulo recto en comparación con la dirección del viento, es decir, el modelo GE MW requiere un mínimo de 32 acres es decir 129,499 mt<sup>2</sup> mientras que el aerogenerador Vestas v90 requiere 78 acres es decir 315,655 mt<sup>2</sup> para cada una.

Para parque eólico San Antonio el sitio (2020) la extensión de terreno para los 16 aerogeneradores de 3.3 MW de potencia y la subestación que poseen es de 3.5 caballerías lo que equivale a 156.31 hectáreas.

#### **2.4.5 Tipos de Comercialización de la energía eléctrica**

En el reglamento del AMM Acuerdo Gubernativo No. 299-98 (1998, art. 4) establece las operaciones de compraventa del mercado mayorista, el cual se puede realizar a través de tres tipos de mercado:

El primero es por obtención de un PPA conocido como mercado a Término, según Unión Española Fotovoltaica (2018), un PPA en sus siglas del inglés “Power Purchase Agreement” que en español se podría conocer cómo Acuerdo sobre Compra de Energía, es un contrato entre un consumidor y un productor de energía (de cualquier índole), entre un productor y un comercializador, o entre comercializadores entre sí para comprar electricidad a un precio prefijado, en unas condiciones acordadas y para un periodo de tiempo establecido previamente. El acuerdo contiene términos contractuales corrientes de venta de electricidad, como duración del contrato, punto de suministro, días y horas de suministro, volumen, precio y producto, además de garantías de penalizaciones, gestión de desvíos y otros puntos. La electricidad vendida puede venir de un suministro ya existente de energía o de un nuevo proyecto. También se puede indicar a lo largo del proyecto las planificaciones establecidas entre las partes para la ejecución del contrato, del proyecto y su puesta en marcha.

El segundo llamado Mercado de oportunidad o mercado spot: donde se realizan transacciones de oportunidad de la energía eléctrica, a un precio establecido en forma horaria, el cual está calculado con base en el costo marginal de corto plazo, que es resultado del despacho de la oferta disponible. La energía que se vende y compra en este mercado corresponde a los excedentes y faltantes que los participantes del mercado posean, como resultado de su generación o demanda y de los contratos realizados.

Y por último el mercado de transacciones de desvíos de potencia diarios y mensuales: donde las transacciones diarias se liquidan, al precio de referencia de la potencia, las diferencias entre potencia disponible y potencia firme de los participantes productores; en las transacciones mensuales, se liquidan las diferencias entre demanda firme efectiva, y la demanda firme contratada de cada participante consumidor durante el año estacional correspondiente.



#### 2.4.6 Porcentaje de costos para la implementación de un parque Eólico

El costo de los sistemas eólicos es una de las principales barreras que existen para el desarrollo masivos de este tipo de tecnología, pero cada vez se hace más accesible ya que la necesidad energética está en aumento y los recursos con los cuales se cubre la necesidad son escasos, por lo cual los países líderes invierten gran cantidad de recursos para la creación de nueva tecnología y optimización de recursos.

Según el informe de León (2013) menciona que se puede comprar nuevo equipo, pero vale la pena mencionar que existe un emergente mercado de turbinas de segunda mano para proyectos de mediana a gran escala, debido a programas de recambio en países como Dinamarca y Alemania. En estos casos, los costos de las turbinas se reducen considerablemente, con una vida útil esperada de 15 a 20 años.

También en el informe de León (2013) se expresa que, el costo de operación y mantenimiento de estos equipos equivale a un 1.5% y un 2% de la inversión inicial por año para generadores nuevos, menores a 10 años y en un 3% de inversión inicial para aerogeneradores antiguos mayores a 10 años.

El desglose porcentual del costo de la inversión es el siguiente:

En tierra firme:

- Aerogeneradores: 74%
- Equipamiento Eléctrico: 17%
- Obra Civil: 5%
- Varios: 4%

En el Mar:

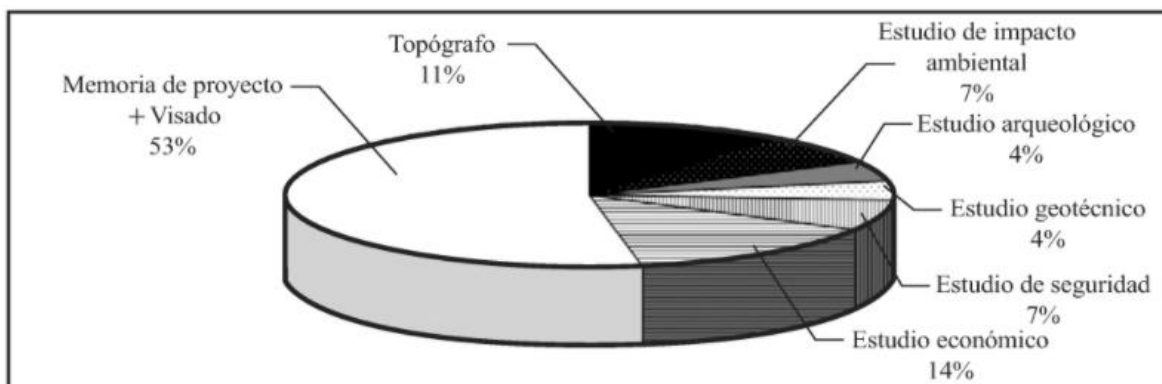
- Aerogeneradores: 55%
- Equipamiento Eléctrico: 21%
- Obra Civil: 20%
- Varios: 4%

### 2.4.6.1 Costos de Preinversión

Como lo indica Talayero & Telmo (2011), los costos de desarrollo como lo llama el autor se suele estimar como un 5% del presupuesto total del parque, dentro de estas tareas se pueden considerar el costo asociado al trabajo de la búsqueda de emplazamiento, instalación de la o las estaciones de medida, pagos de alquileres de terreno y licencias para medir, análisis de los datos medidos y auditorias.

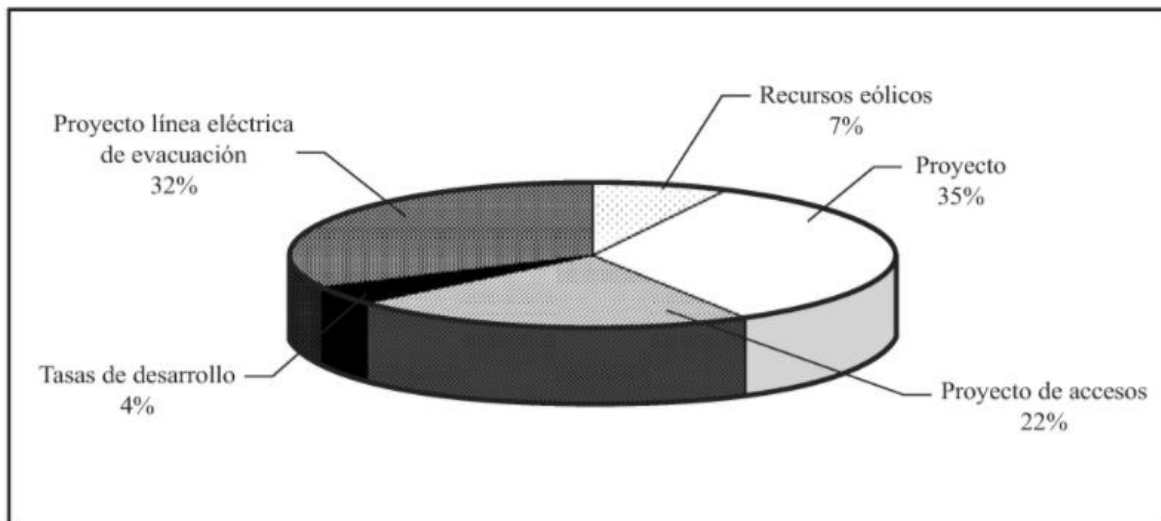
Así también indica el autor que además del costo de la realización de la memoria que incluye un estudio de pérdidas eléctricas y de caminos, se tienen en cuenta los visados de la misma y los costos de todos aquellos estudios y trabajos que acompañan al proyecto y son necesarios para la ejecución del mismo o para la obtención de la autorización del parque, como son servicios de topografía, para realizar mapas de detalle y ubicar los aerogeneradores en los lugares exactos; el estudio de seguridad y salud, los estudios de impacto ambiental y arqueológico, necesario para la autorización de medio ambiente, el estudio geotécnico necesarios para conocer las características del terreno y calcular así las cimentaciones de los aerogeneradores, e incluso los estudios económicos de viabilidad del proyecto realizados.

**Gráfica 1. Costos de los estudios del proyecto**



**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

**Gráfica 2. Costos de la fase de desarrollo**



**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

#### 2.4.6.2 Costos de Inversión

Para Talayero & Telmo (2011), los costos correspondientes a la construcción del parque se pueden dividir en tres grandes partidas: Obra civil, instalaciones eléctricas y el costo del aerogenerador. Además, hay otras dos partidas con repercusión pequeña sobre el proyecto que son: la dirección de obra y el pago de licencias. Los costos asociados a la construcción del proyecto representan el 95% del total del proyecto siendo la mayor partida el costo del aerogenerador.

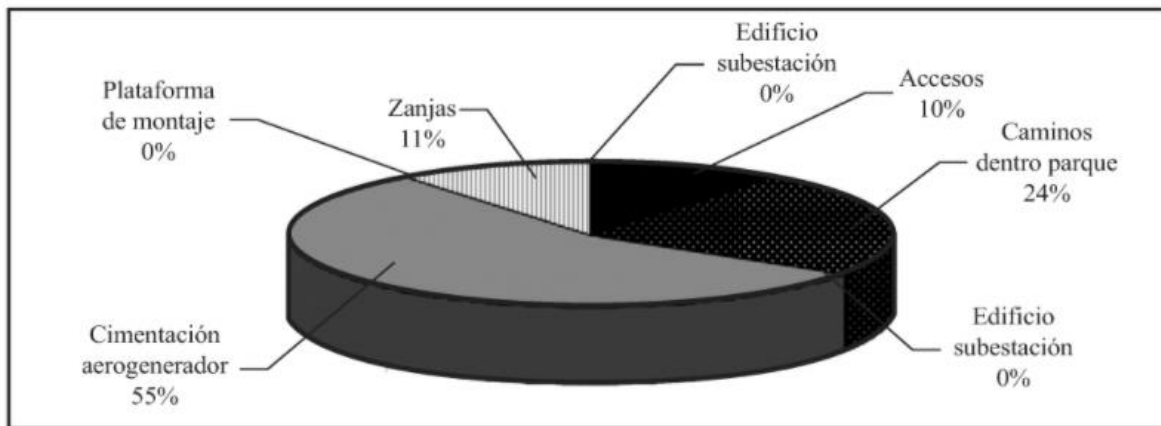
##### a) Obra civil

Dentro de la obra civil del parque los costos que se deben tener en cuenta son los asociados a la construcción o adecuación de caminos, las cimentaciones de los aerogeneradores, las plataformas de montaje, el edificio de la subestación y las zonajas para el tendido del cable.

Los porcentajes de los mismo variarán en función del número de aerogeneradores, del proyecto, de la distancia a la que se encuentren y de las características del terreno; de forma general, en cada uno de los puntos se considera:

- Caminos: El costo del camino viene determinado por el tipo de terreno, las características de los caminos existentes si los hubiera, y la longitud de estos, por lo que para cada proyecto se tiene un precio unitario del metro de camino, que deberá multiplicarse por los metros de caminos existentes en el proyecto.
- Cimentaciones: Las cimentaciones incluyen el coste de la excavación que depende del tipo de terreno y de las dimensiones de este, el transporte a vertedero de este material, el encofrado y colocación de la parte enterrada del aerogenerador, la colocación de la toma de tierra y el hormigonado de la misma.
- Plataforma: incluye el costo de excavación o aporte de material si fuera necesario y la limpieza y compactación del terreno.
- Edificio de la subestación: es el costo del edificio que acoge al sistema de control del parque y paramenta eléctrica.
- Zanjas: también es este caso el costo suele ser por metro de zanja necesaria por lo que suele calcularse previamente el coste lineal, dependiendo del tipo material y de los requerimientos del cable que va enterrado, y luego, depende del número de metros de zanja necesarios.

**Gráfica 3. Costos de la obra civil**



**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

### **b) Obra eléctrica**

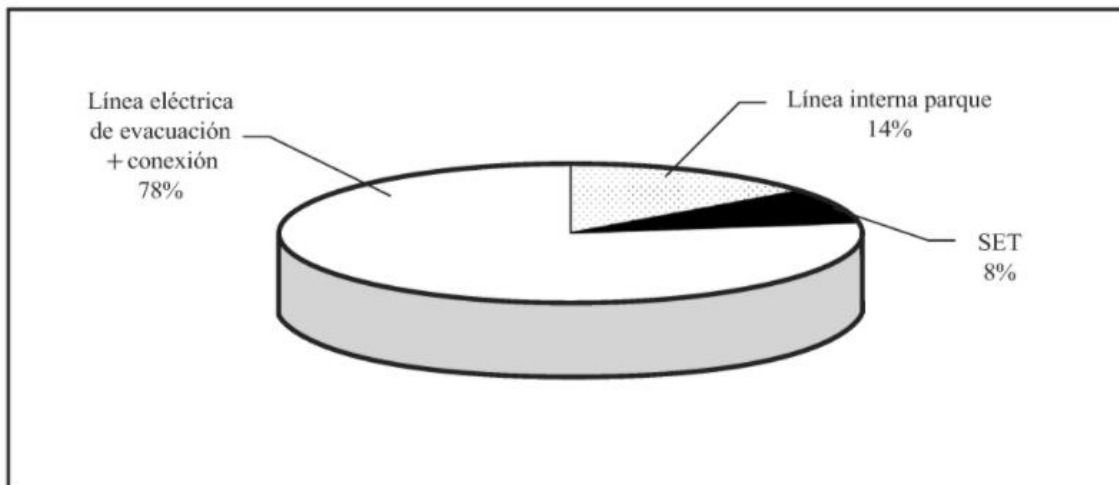
Para Talayero & Telmo (2011), la obra eléctrica del parque lleva asociados el cable de conexión de los aerogeneradores, la subestación de transformación, la línea de evacuación y la conexión a la subestación receptora. Los costes de estos dos últimos conceptos son los que pueden presentar una mayor variación de un proyecto a otro ocasionando cambios en todos los porcentajes presentados.

- Líneas de interconexión: En la línea de interconexión se incluye el costo de los conductores de potencia, la red de tierra y la fibra óptica por la que se transmiten las señales del telemando. El costo de estos elementos es lineal por lo que dependerá de los metros que se necesiten y tamaño de las bobinas, que están vinculados a la distribución de los aerogeneradores y de la subestación.
- Subestación: El costo de la subestación dependerá en gran medida del nivel de tensión al que se ha de realizar la conexión, aumentando al hacerlo este. Se incluye en este costo tanto el costo de los materiales como de la instalación de toda la paramenta eléctrica del parque de la subestación, los

soportes metálicos, más las celdas, cuadros de control, del interior del edificio y los servicios auxiliares.

- Línea eléctrica de evacuación: el costo por unidad de longitud de la línea depende del nivel de tensión.
- Conexión a la subestación receptora: El coste de la conexión a la subestación receptora depende fundamentalmente de si esta dispone de capacidad para añadir una posición más o no. En caso afirmativo, solo será necesario abonar el coste de la nueva posición, que variará según el nivel de tensión.

**Gráfica 4. Costos de la obra eléctrica**



**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

### c) Aerogeneradores

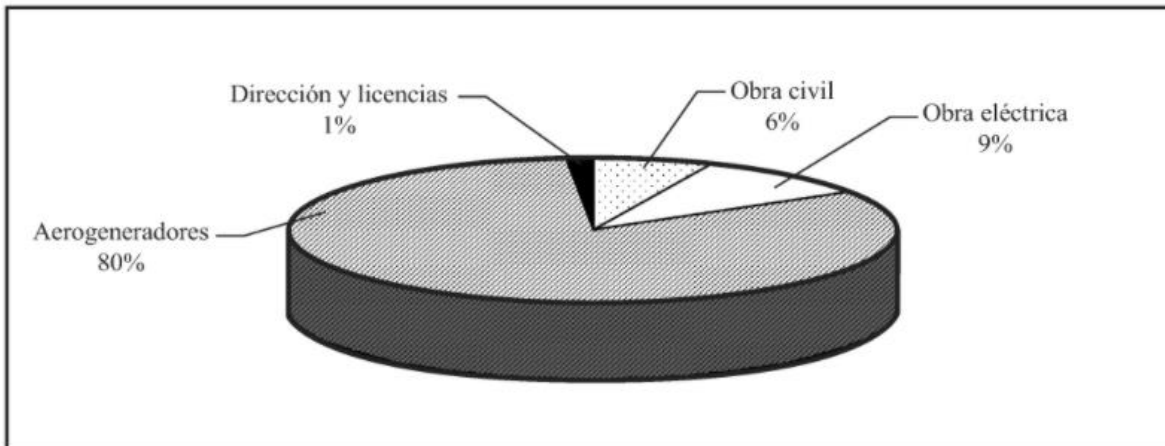
Para Talayero & Telmo (2011), el precio de los aerogeneradores es variable en función del mercado, de la tecnología utilizada y de las dimensiones: la altura de la torre y el diámetro del rotor.

**Tabla 5. Costos de un aerogenerador por potencia**

<i>Potencia [kW]</i>	<i>Euro/kW</i>
850	875
1 500	1 000
2 000	1 100

**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

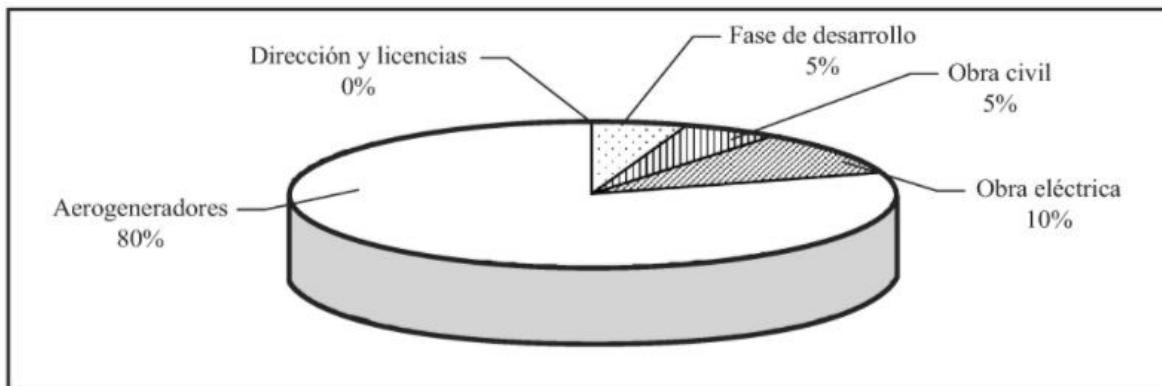
Resumiendo, de forma general, el esquema global de costes de la fase de construcción de un parque eólico podría ser el siguiente:

**Gráfica 5. Costos de la fase de construcción**

**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

Como resumen y conclusión el autor Talayero & Telmo (2011) muestra en la siguiente gráfica en porcentajes aproximado de los costos totales de la etapa de desarrollo y construcción del un proyecto de energía eólica.

**Gráfica 6. Porcentaje de costos de un proyecto de parque eólico.**



**Fuente:** obtenido de Talayero & Telmo (2011).

### 2.4.6.3 Costos de Operación

Para Talayero & Telmo (2011), los principales costos de explotación son:

1. Operación y mantenimiento, que supone el mayor gasto de explotación, alrededor del 65% total. Normalmente se contrata el mantenimiento de los aerogeneradores al fabricante de los mismos y el mantenimiento de las instalaciones eléctricas y subestación transformadora a una empresa especializada en mantenimiento de instalaciones de alta tensión.
2. Alquiler de los terrenos (o amortización de los mismos en caso de compra). La práctica habitual suele ser el alquiler de los terrenos a particulares o ayuntamientos o también la concesión de ocupación en el caso de montes catalogados de utilidad pública. En todos los casos se abona una cantidad anual por cada aerogenerador implantado durante el periodo de ocupación. Esta cantidad oscila en función del tamaño del aerogenerador.
3. Seguros. En los últimos años los seguros han experimentado una fuerte subida en los precios, estando actualmente en un valor cercano al 0.4% de la inversión.



4. Tributos. Principalmente el impuesto de actividades económicas (IAE) que se paga a los ayuntamientos, proporcional a la potencia de la instalación y el impuesto de Bienes Inmuebles (IBI) en función de su valor catastral asignado.
5. Personal. La práctica habitual es contratar los servicios de mantenimiento. No obstante, se suele contratar alguna persona para supervisar dichos trabajos y servir de enlace con la propiedad. La legislación de algunas comunidades, obliga a la contratación de un trabajador por cada instalación autorizada.
6. Administración. Es el coste de los servicios de gestión de la sociedad, normalmente contratados a uno de los socios.
7. Gestión de la venta de energía. Es el servicio que presta un agente que se encarga de la gestión de la venta en el mercado de la electricidad de la energía eléctrica generada por la instalación.
8. Varios (compra de energía, líneas telefónicas, seguimientos ambientales, auditorías, previsiones de producción, etc.).

### **3. METODOLOGÍA**

El presente capítulo se desarrolla la metodología de investigación que se utilizó en el presente informe para dar una solución inteligente al problema relacionado con el desarrollo de un parque eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala.

A continuación, se describe el contenido del presente capítulo: La definición del problema; objetivo general y objetivos específicos; método científico; y las técnicas de investigación documental y de campo utilizadas.

#### **3.1 Definición del problema**

La alta contaminación causada por el uso de combustibles fósiles, así como el desgaste del planeta tierra por causa de la explotación de los recursos no renovables, provoca contaminación atmosférica (lluvia ácida), efecto invernadero, enfermedades respiratorias, incendios forestales y conflictos bélicos y sociales.

En la actualidad el 78% de emisiones de CO<sub>2</sub> son originados de la combustión de combustibles fósiles (Carbón, Petróleo y Gas) lo que obliga a realizar esfuerzos para la reducción de los gases de efecto invernadero desarrollando energías renovables y eficiencia energética cuyo impacto ambiental es nulo o muy poco comparándola con las fuentes de energía tradicionales.

El crecimiento poblacional está en una tasa de 1.95% lo que equivale a un crecimiento de 29,603,000 personas aproximadamente por año en el mundo, lo que significa que los sistemas energéticos de todos los países deben de estar preparados para soportar dicho crecimiento de una forma sostenible.

A efectos de órdenes de magnitud, hay que considerar que la instalación de 175 MW de energía eólica en un lugar supondría evitar la emisión de 393,750 ton/año de CO<sub>2</sub>. Considerando que, por el proceso de fotosíntesis, un árbol elimina de la atmósfera unos 20 kg de CO<sub>2</sub> al año, la actuación que se pretende tendría un efecto

equivalente en este aspecto al de casi 20 millones de árboles, que ocuparían unas 103,500 ha.

El problema de investigación plantea la siguiente pregunta ¿Es factible el desarrollo de un campo eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala?

### **3.2 Delimitación del problema:**

La delimitación se deriva de la especificación del problema, lo cual sirve de base para definir la unidad de análisis, el período y el ámbito geográfico que comprende la investigación.

#### **3.2.1 Unidad de análisis**

Proyecto desarrollo de un parque eólico para la generación de energía renovable.

#### **3.2.2 Período a investigar**

El periodo es del 2015 al 2019.

#### **3.2.3 Ámbito geográfico**

El Municipio de Villa Canales, Guatemala.

### **3.3 Objetivos**

Los objetivos constituyen todos los pasos y procesos que se deben de realizar para llevar a cabo este proyecto, a continuación, se plantea el objetivo general y los objetivos específicos.

#### **3.3.1 Objetivo general**

Proponer el desarrollo de un parque eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala.

### 3.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el mercado eléctrico nacional y regional para la inserción de la energía eléctrica.
- Establecer la información técnica fundamental para el diseño, construcción, operación y abandono de un parque eólico.
- Analizar los aspectos administrativos y el marco legal regulatorio relacionado con el desarrollo de un parque eólico en Guatemala.
- Evaluar los impactos ambientales de la implementación del parque eólico en el entorno biótico y abiótico, así como las medidas de mitigación correspondientes.
- Establecer indicadores financieros para el inversionista mediante la integración de ingresos y egresos del parque eólico.

### 3.4 Justificación

Entre los motivos para el desarrollo del sector eólico se tiene que es una inversión segura a futuro, ya que las regulaciones actualmente en el país dan beneficios a proyectos de energía renovable, así como el rendimiento de los equipos y el beneficio social que trae en las comunidades cercanas. Otro motivo es que la electricidad proveniente de fuentes renovables es prioritaria para la compra y de todas las renovables son las que menos impacto adverso ejercen sobre el medio ambiente y esta imagen es transmitida a la población en general ya que tienen una vida útil por encima de los 20 años, con poco mantenimiento y con una fuente de energía inagotable.

El fin de la implementación de este tipo de tecnología es poder generar energía responsable con el planeta tierra, para suplir las necesidades energéticas de la población creciente y así llegar a ese futuro común deseado por tantas personas.

### 3.5 Matriz del Marco Lógico

En la siguiente tabla se contiene un resumen de lo que se pretende hacer y cómo las actividades, insumos, productos y fin serán monitoreadas al ser implementado el proyecto.

**Tabla 6. Matriz del Marco Lógico**

Resumen narrativo de Objetivos	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos/Riesgos
<b>FIN</b> Disminución de los efectos adversos del cambio climático reduciendo las emisiones de los gases de efecto invernadero.	1. Disminución de la temperatura global de la atmosfera. Fenómenos climatológicos más leves.	Banco Mundial-indicadores <a href="https://datos.bancomundial.org/indicador">https://datos.bancomundial.org/indicador</a>	Que los proyectos de energía renovable sean desarrollados a una gran magnitud.
<b>PROPÓSITO</b> Contribuir a la reducción de uso de combustibles fósiles para la generación de energía, aumentando la capacidad instalada de fuentes renovables en el país.	1. Generación total de energía por fuentes renovables vrs fuentes no renovables.	pagina del Administrador del Mercado Mayorista	Que los países tengan la voluntad política de invertir en una transición energética renovable.
<b>COMPONENTES</b> Generación de Energía eléctrica Alterna utilizando la energía sinética del viento la cual es ilimitada y libre.	1. Factor de Carga del proyecto realizado y porcentaje de intermitencia.	En la etapa de funcionamiento del proyecto se pueden calcular este factor y porcentaje.	Que se trabajen por la vida estimada del proyecto sin ningún factor externo que dañe las instalaciones.
<b>ACTIVIDADES</b> 1. Análisis del Mercado nacional y regional. 2. Características técnicas para el emplazamiento. 3. Análisis del marco administrativo legal. 4. Evaluación de impacto ambiental. 5. Evaluación Financiera	1. Consumo total de energía nacional y regional, importación y exportación de energía. 2. Velocidad del viento, dirección del viento, tipos de terrenos. 3. Viabilidad Legal, No. De personas contratadas. 4. Valoración de impactos al medio ambiente. 5. VAN, TIR, R C/B, IR y PRI	En los estudios de Preinversión a la hora de realizar el flujo neto de caja se establecen los indicadores.	Que cada estudio sea elaborado por expertos en el área.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6 Método científico

El método científico es el fundamento de la presente investigación relacionada con el desarrollo de un parque eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales, Guatemala.

El proceso de investigación metodológico utilizado en este informe es el enfoque cuantitativo, en este proceso cada etapa precede a la siguiente y no se puede brincar o eludir pasos, el orden es riguroso aunque se puede redefinir algunas fases, entre las cuales se tienen: la idea, planteamiento del problema, previsión de la literatura y desarrollo del marco teórico, visualización del alcance del estudio y definición de variables, desarrollo de diseño de investigación, recolección de los datos, análisis de los datos, elaboración de reporte de resultados.

En la fase indagatoria se previó la planificación y ejecución de la recolección de datos que conllevó al descubrimiento de evidencia.

En la fase demostrativa se analizaron los datos estadísticos producidos por el Administrador de Mercados de Mayoristas, así como la información publicada de las instituciones que intervienen en el desarrollo de este tipo de proyectos y se buscó la participación de personas expertas en el área de energía de la región.

En la fase expositiva se muestran los resultados de las entrevistas y recopilación de datos que se obtuvieron en la investigación.

Según Sampieri (2014), el alcance correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo población, en este caso de estudio las variables utilizadas son desarrollo de un parque eólico, unidades de aerogeneradores como variable "X" y generación de Energía eléctrica y como variable "y" el consumo de energía, ahorro en emisiones de Gases de efecto invernadero. Se pueden hacer preguntas de investigación como ¿a mayor producción de energía renovable menor

es la emisión de gases de efecto invernadero?, ¿la inversión de proyectos de energía renovable genera un desarrollo económico en las comunidades cercanas?

Dentro de las limitaciones identificadas a la hora de realizar la investigación se observó que en la práctica cada estudio para llevarlo a un nivel de prefactibilidad o factibilidad es realizado por una firma consultora especializada en dicho estudio, así mismo a nivel nacional los estudios de viento son realizados en su mayoría por empresas privadas los cuales no hacen públicos.

### **3.7 Técnicas de investigación aplicadas**

Las técnicas son reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos en la aplicación del método de investigación científico. Las técnicas de investigación documental y de campo aplicadas en la presente investigación, se refieren a lo siguiente:

#### **3.7.1 Técnicas de investigación documental**

Entre las técnicas de investigación documental, se realizó una revisión bibliográfica de los temas relacionados al planteamiento del problema, las técnicas utilizadas fueron lectura analítica, subrayado, fichas bibliográficas, fichas de resumen, fichas de citas.

se consultó información bibliográfica de la biblioteca central de la universidad de San Carlos de Guatemala información relacionada a la generación de energía renovable específicamente energía eólica, también se consultó la biblioteca virtual eLibros.net con temas similares, se visitaron las páginas web de los tres parques eólicos que operan actualmente en Guatemala, así como del extranjero.

#### **3.7.2 Técnicas de investigación de campo**

Durante el proceso de investigación se utilizó la siguiente técnica de investigación de campo:

### **3.7.2.1 Entrevista**

Se utilizó la técnica de la entrevista vía telefónica por medio del instrumento del cuestionario (Ver Anexo 1) a dos personas expertas en el área de energía renovable y energía eólica, una persona trabaja en la unidad de energía a nivel centroamericano en Multi Inversiones, S.A. y otra persona ha participado en la construcción de parques eólicos en Guatemala y Centroamérica teniendo experiencia en el tema que se desarrolla.



## **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El presente capítulo da a conocer el análisis e interpretación de la investigación relacionada al desarrollo de un parque eólico para la generación de energía renovable en el Municipio de Villa Canales.

### **4.1 Análisis del mercado eléctrico**

Para el siguiente estudio se desarrolló la característica del producto y servicio que ofrecerá el parque, así como el análisis de la oferta y demanda a nivel nacional y regional, esto por la gran oportunidad que presenta la exportación de electricidad dentro del Mercado eléctrico regional.

También se analizaron las estrategias de comercialización de la electricidad en contratos a términos – Power Purchase Agreement (PPA) y la comercialización en el mercado Spot de la electricidad.

#### **4.1.1 Características del producto y servicio**

El producto final es energía eléctrica alterna generada por la energía cinética del viento la cual es provocada por el sol a la hora de calentar la atmosfera y así convierte el aire en viento. Esta energía sale del aerogenerador (entre 480 y 600V) y es conducida a los transformadores de corriente que la elevan a media tensión (13,800V), para llevarla a la subestación que eleva a voltaje de transmisión o también conocido como alta tensión (69,000V), para luego con este voltaje conectarse al Sistema Nacional Interconectado (SNI).

El servicio está diseñado para cumplir con todos los requerimientos de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en las Normas Técnicas de Acceso y Uso de la Capacidad de Transporte (NTAUCT), a fin de entregar energía y potencia al SNI o al Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC).

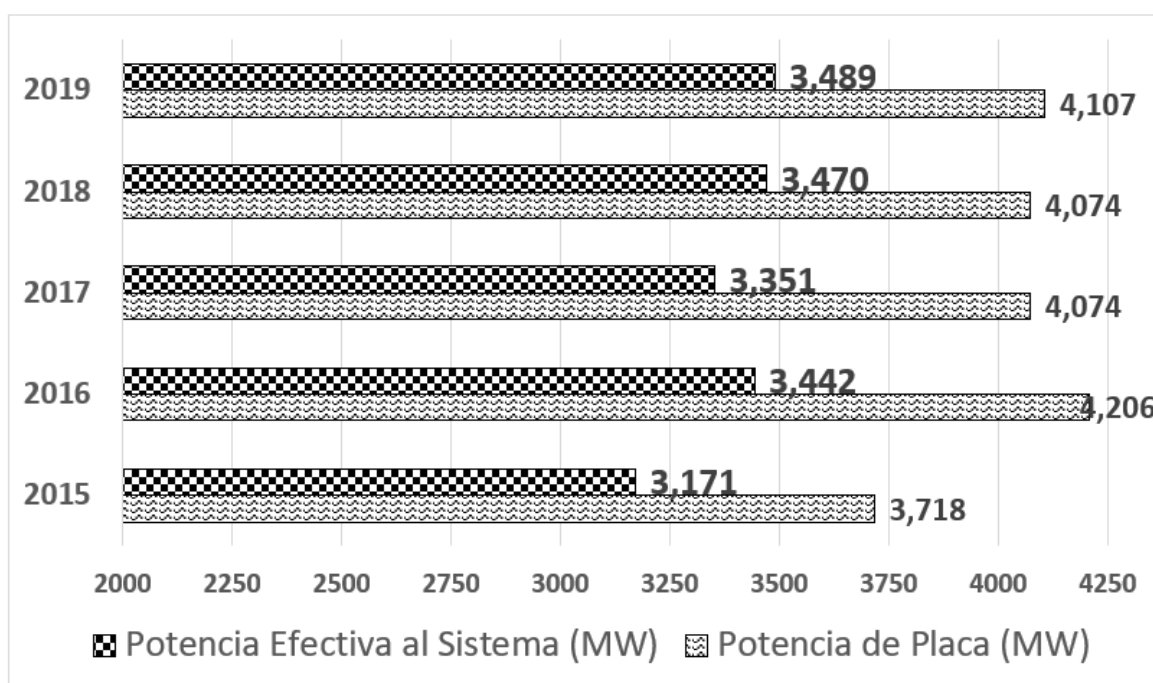
#### 4.1.2 Análisis de la oferta

El mercado eléctrico tiene una variedad de actores nacionales y regionales los cuales constituyen la oferta de electricidad para toda Centroamérica.

##### 4.1.2.1 Oferta nacional

A continuación, se determina la oferta efectiva nacional y en placas en MWh para los años del 2015 al 2019.

**Gráfica 7. Oferta Nacional Efectiva al sistema y Oferta de placa en (MW)**



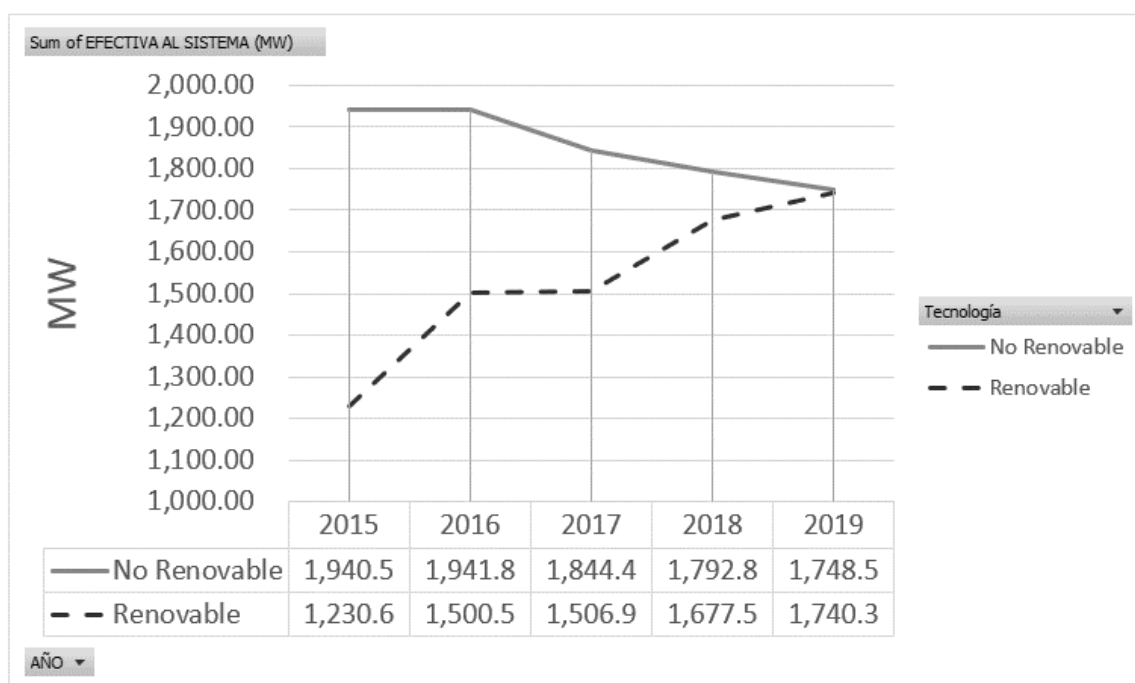
**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte de Capacidad Instalada.

Se puede observar que la capacidad instalada en Guatemala para el año 2019 es de 4,107 MWh en placas de maquina pero efectivamente está generando 3,489 MWh, esto es porque al mismo tiempo en que se está prescindiendo de la tecnología que utiliza combustibles fósiles se están creando nuevos proyectos de generación de energía eléctrica renovable y es la que se le está dando prioridad para abastecer

el sistema nacional, otra causa es que las energías renovables dependen propiamente de su recurso natural por ejemplo agua y viento para poder generar energía y este es variable según sea el clima y la estación en que se encuentre.

A continuación, se presenta la gráfica que hace el comparativo entre la oferta efectiva que hay dentro del país según el tipo de tecnología utilizada.

**Gráfica 8. Comparativo de la Oferta Nacional efectiva por Tecnología MW**

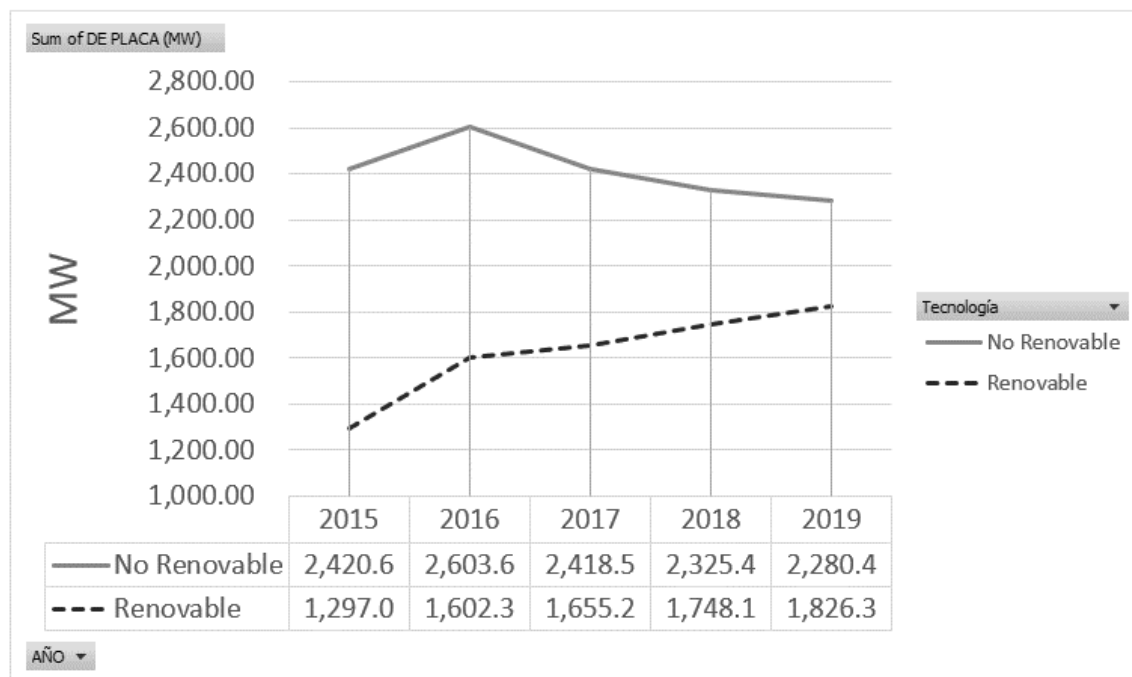


**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte de Capacidad Instalada.

Se puede observar que en la gráfica anterior el crecimiento de las energías renovables y el decremento de las energías no renovables hasta el punto en que en el año 2019 llegaron a una capacidad instalada efectiva muy similar, es porque se está priorizando la generación de energía eléctrica a través de tecnología limpia.

En la siguiente gráfica del comparativo entre capacidad instalada en placas por tipo de tecnología.

**Gráfica 9. Comparativo de la Oferta Nacional de placa por Tecnología**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte de Capacidad Instalada.

En la gráfica anterior se puede apreciar que la capacidad instalada de energías renovables en placas va al alza y las no renovables vienen en disminución, el motivo es porque se están dando incentivos a nuevos proyectos que utilicen tecnología renovable, pero tienen un gran trecho que avanzar para lograr cubrir la demanda del país y dejar de utilizar energías por uso de combustibles fósiles.

#### 4.1.2.2 Oferta Regional

A continuación, se presenta la oferta total regional desglosada de las diferentes fuentes de generación.

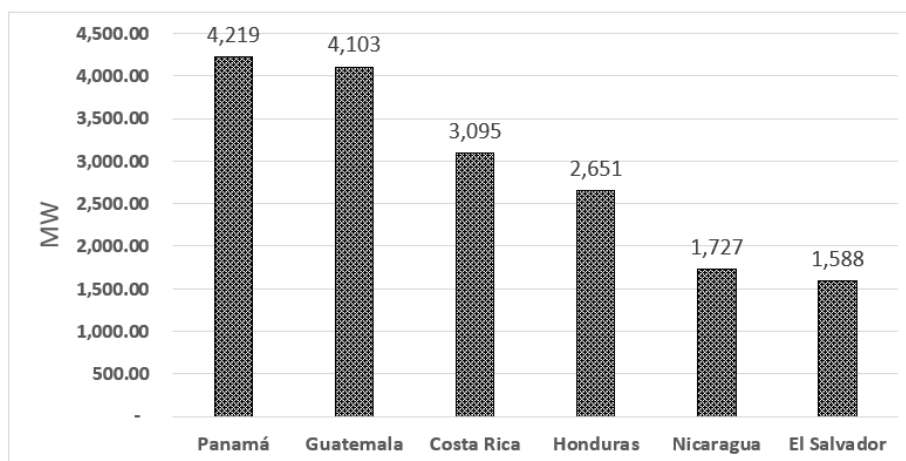
**Gráfica 10. Capacidad Instalada por Fuente de energía del Mercado de Energía Regional - MER (MW) - 2019**

Tecnología	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panamá	Total
Eólica	107.40	54	254.3	286.2	413.62	336	1,451.52
Solar fotovoltaica	92.50	94	510.8	24	5.4	194.7	921.40
Hidroeléctrica	1,574.45	557.2	838.8	157.42	2343.17	1806.6	7,277.64
Geotérmica	49.20	174.5	35	153.24	261.86	0	673.80
Carbon	501.16	0	144	0	0	420	1,065.16
Gas Natural	172.85	0	0	0	0	381	553.85
Diesel, Bunker	570.16	411.2	658.1	888.31	0	1072.9	3,600.67
Biomasa y Cogeneración	1,035.72	297.5	209.7	218.2	71	8.1	1,840.22
<b>Total</b>	<b>4,103.44</b>	<b>1,588.40</b>	<b>2,650.70</b>	<b>1,727.37</b>	<b>3,095.05</b>	<b>4,219.30</b>	<b>17,384.26</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Ente Operador Regional y los reguladores de Centro América.

En la tabla anterior se puede observar que hay una mezcla de diferentes fuentes de generación de energía, entre las cuales hay renovable y no renovables a nivel regional, sumando un total de 17,384.26 (MW) de capacidad instalada.

**Gráfica 11. Capacidad Instalada por cada país de la Región (MW)**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Ente Operador Regional y los reguladores de Centro América.

En el cuadro y gráfica anterior indica que Guatemala y Panamá son los países que poseen la mayor oferta de energía al Mercado Eléctrico Nacional, y que Nicaragua y El Salvador son los países con menos oferta de la región, posicionando a Guatemala como uno de los países más competitivos.

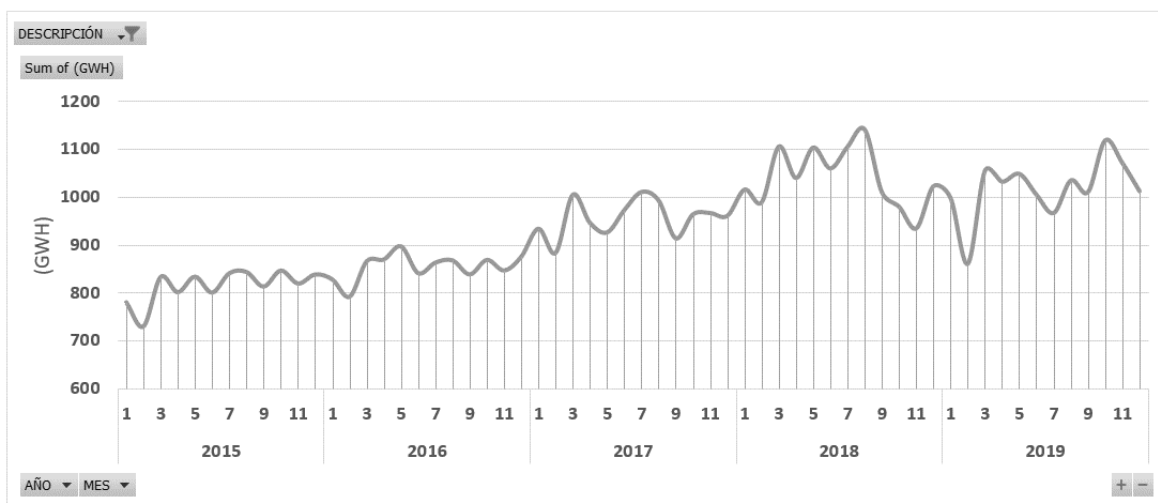
#### 4.1.3 Análisis de la demanda

Dentro del análisis de la demanda se determinaron los mercados que demandan electricidad a nivel regional los cuales son el mercado nacional y regional (MER) que abarca a toda Centroamérica.

##### 4.1.3.1 Demanda nacional

Se determina la demanda nacional la cual se puede establecer por la energía despachada por el AMM.

**Gráfica 12. Patrón de la demanda anual de energía despachada por AMM en cinco años [GWH]**

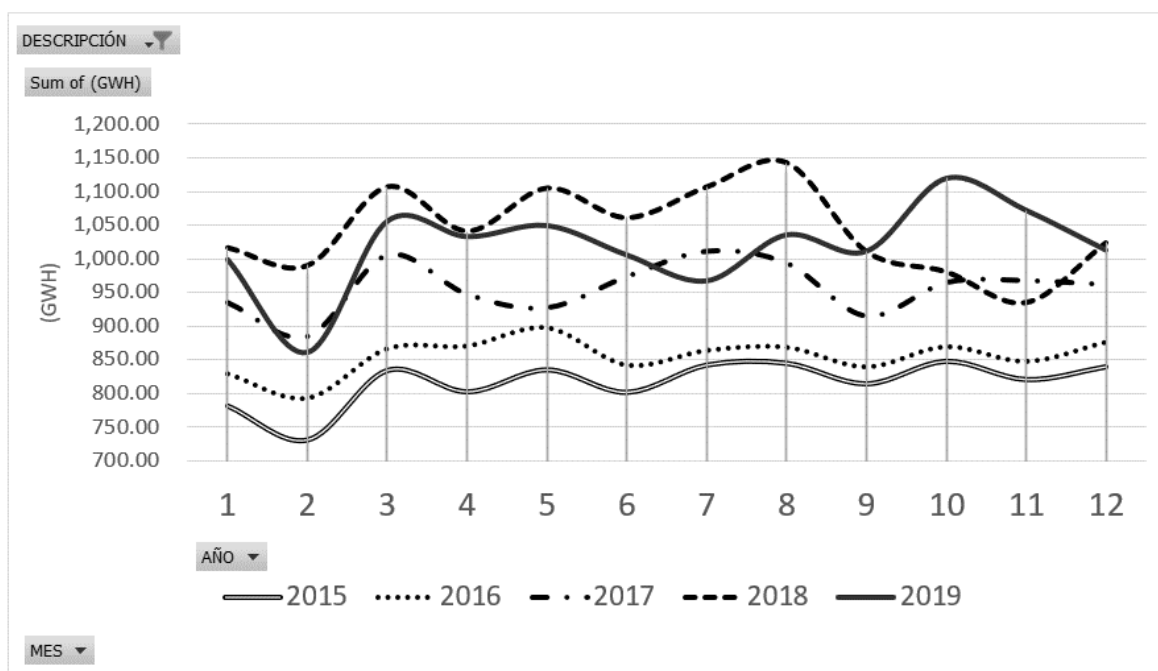


**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Generación mensual por planta (xls).

En la gráfica anterior se puede observar el patrón de electricidad despachada por el AMM observándose una tendencia creciente a lo largo de los cinco años.

La siguiente gráfica muestra el despacho de energía por año para poder apreciar mejor el crecimiento que ha tenido en los últimos cinco años.

### Gráfica 13. Despacho de Electricidad del 2015 al 2019 al SNI (MW) Mensual

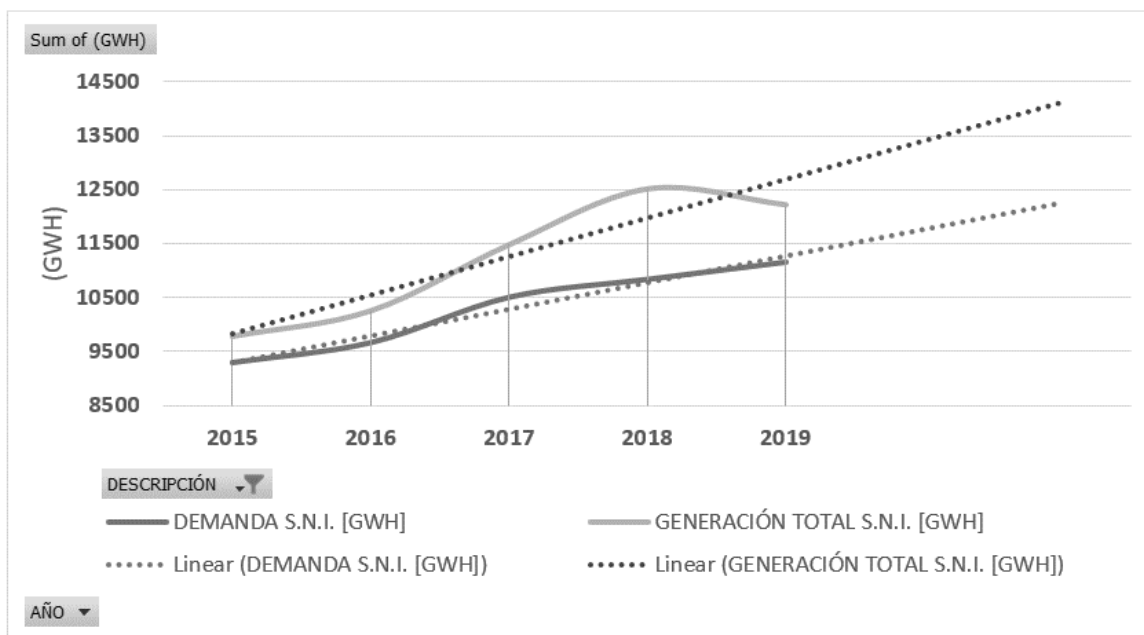


**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Generación mensual por planta (xls).

En la gráfica anterior se observa el crecimiento de la demanda de energía año tras año siendo un punto máximo de despacho del año 2018, únicamente en el último trimestre de 2019 se puede observar que hubo un aumento del despacho que terminó nivelándose nuevamente en diciembre con el del 2018.

A continuación, se muestra la gráfica comparando la generación versus el consumo generado en el territorio nacional.

**Gráfica 14. Generación Nacional Vrs Consumo Nacional e intercambio Neto**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Generación mensual por planta (xls).

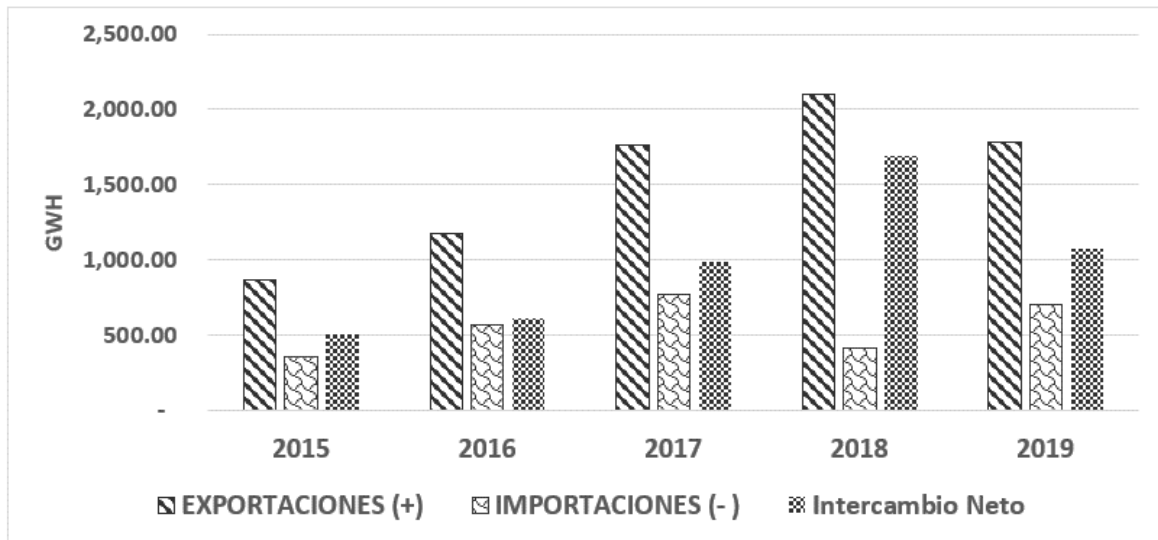
Como se puede observar en la gráfica anterior, la demanda generada en el territorio de Guatemala es inferior a la cantidad de energía producida dentro del mismo territorio, esta diferencia de energía son las exportaciones e importaciones que se realizan en el MER, se puede apreciar la tendencia hacia el alza de ambas variables, teniendo un mayor crecimiento ligero el intercambio neto que se realice en el Mercado eléctrico regional.

#### 4.1.3.2 Demanda Regional

Dentro de la demanda regional se detallan el intercambio neto entre exportaciones e importaciones de Guatemala.



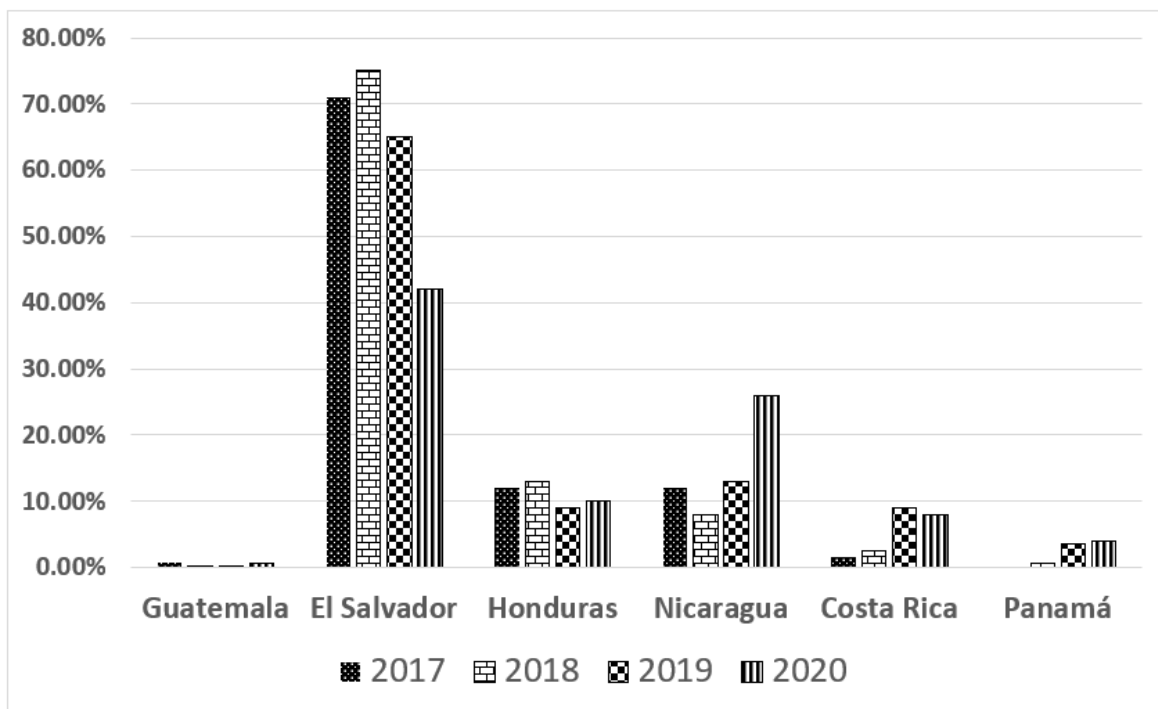
**Gráfica 15. Exportación e importación de energía en Guatemala (GWh)**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Generación mensual por planta (xls).

En la gráfica anterior se puede apreciar el crecimiento de las exportaciones que ha tenido el país de Guatemala en los últimos 5 años, indicando que hay un potencial de demanda en el mercado eléctrico regional.

**Gráfica 16. Porcentaje de Importación de Energía en el MER**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Informe Mercado eléctrico Guatemalteco del Administrador de Mercados Mayorista (2020).

Se puede observar que Guatemala participa en menos de un 1% en las importaciones del MER, esto es porque su capacidad instalada excede a su demanda nacional, por otra parte, los países de El Salvador, Honduras y Nicaragua son los países que más importan energía eléctrica.

#### 4.1.4 Análisis de Precios

Se determinó el promedio del precio SPOT obtenido de la página web de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala del año 2019 por país.

**Tabla 7. Precios de Oportunidad de la Energía por País de origen US\$/MGW**

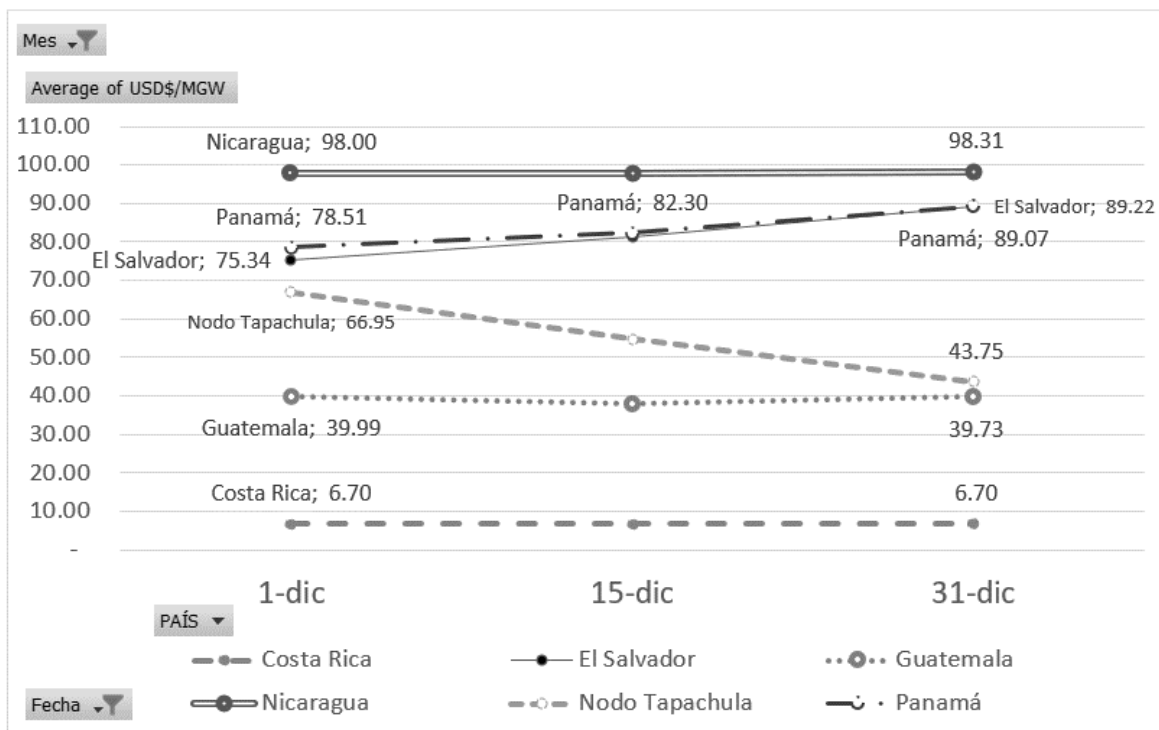
<b>PAÍS</b>	<b>Precio Promedio SPOT</b>
Nicaragua	97.98
El Salvador	79.09
Nodo Tapachula	73.38
Panamá	72.32
Guatemala	35.58
Costa Rica	23.08

**Fuente:** Elaboración propia con base a la información de la comisión nacional de energía eléctrica de Guatemala, en la sección de monitoreo de mercado regional – Precio Spot.

El cuadro anterior muestra que, en los países de Nicaragua, El Salvador, Nodo de Tapachula y Panamá son los países de la región que más pagan por Mega Watts, esto se debe principalmente por el tipo de tecnología que se utiliza en esos países y por los monopolios en la electricidad. Por otra parte, se puede observar que Guatemala y Costa Rica son los países más competitivos de la región ya que han reemplazado en gran medida los combustibles fósiles por la generación renovable de energía.

En la siguiente gráfica se presenta el comportamiento de los precios a nivel regional con el que se participa en el mercado de oportunidad.

Gráfica 17. Precio spot del MER diciembre 2019.



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información de la Comisión nacional de energía eléctrica de Guatemala, en la sección de monitoreo de mercado regional – Precio Spot.

Se puede observar en la gráfica en el mes de diciembre los precios son estables, dejando a Guatemala y Costa Rica como los países más competitivos de la región en el mercado de oportunidad y Nicaragua como el país con el precio más caro por MWh dando la pauta para que los países que tienen un precio Spot bajo quieran vender la energía en los países con precio Spot alto.

A continuación, se muestra el movimiento del precio Spot a lo largo del año 2019.

**Tabla 8. Precio Spot (\$) promedio de Guatemala**

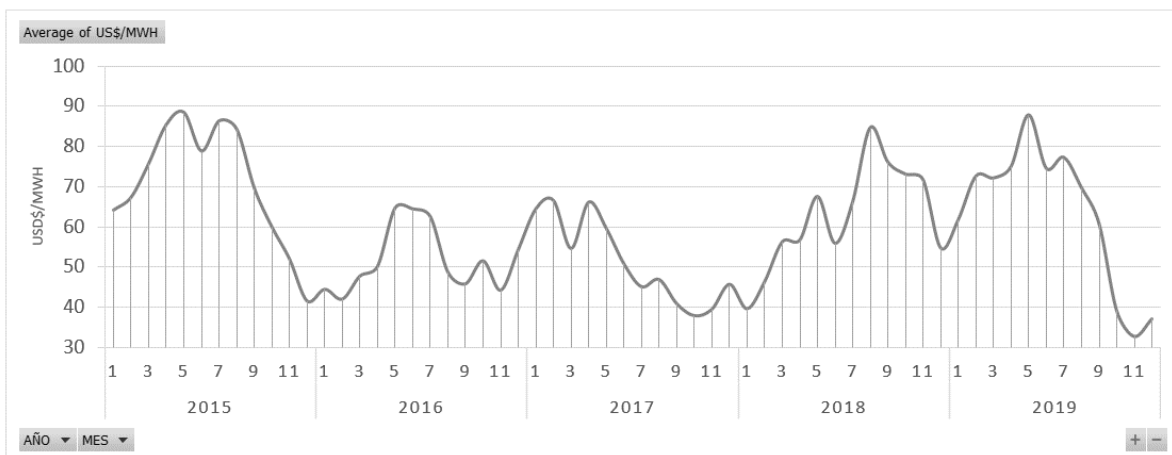
<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>US\$/MWH</b>
2019	ene	61.71
2019	feb	72.51
2019	mar	72.05
2019	abr	74.89
2019	may	87.71
2019	jun	74.47
2019	jul	77.16
2019	ago	69.64
2019	sep	60.74
2019	oct	39.15
2019	nov	32.73
2019	dic	37.07
<b>Total promedio</b>		<b>63.27</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Precio SPOT-Anual.

En Guatemala el precio SPOT durante el año 2020 se ha venido comportando sin muchas variaciones durante los primeros nueve meses del año y bajando los precios en los últimos tres meses del año.

En la siguiente grafica se muestra el comportamiento del precio Spot a lo largo de los cinco años evaluados para poder ver el comportamiento de este.

**Gráfica 18. Precio spot de Guatemala US\$/MWh del 2015 al 2019**

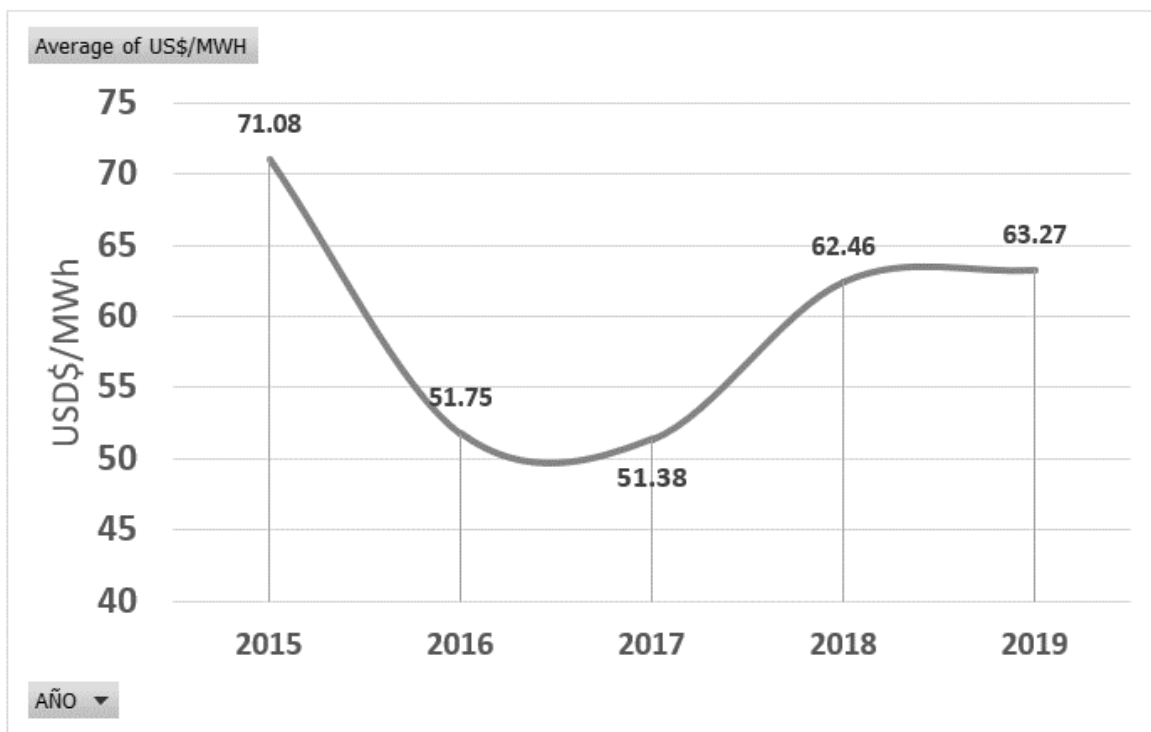


**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Precio SPOT-Anual.

En la gráfica anterior se puede observar que los años con precio menos competitivos han sido el año 2015, 2018 y 2019 siempre presentando los picos más altos en a mediados de año y los picos más bajos a principios y finales de cada año, esto es por el efecto de la temporada de invierno y verano que se analiza en la gráfica 13.

En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento del precio Spot en Guatemala en promedio en los últimos cinco años.

**Gráfica 19. Precio spot de Guatemala US\$/MWh por año.**

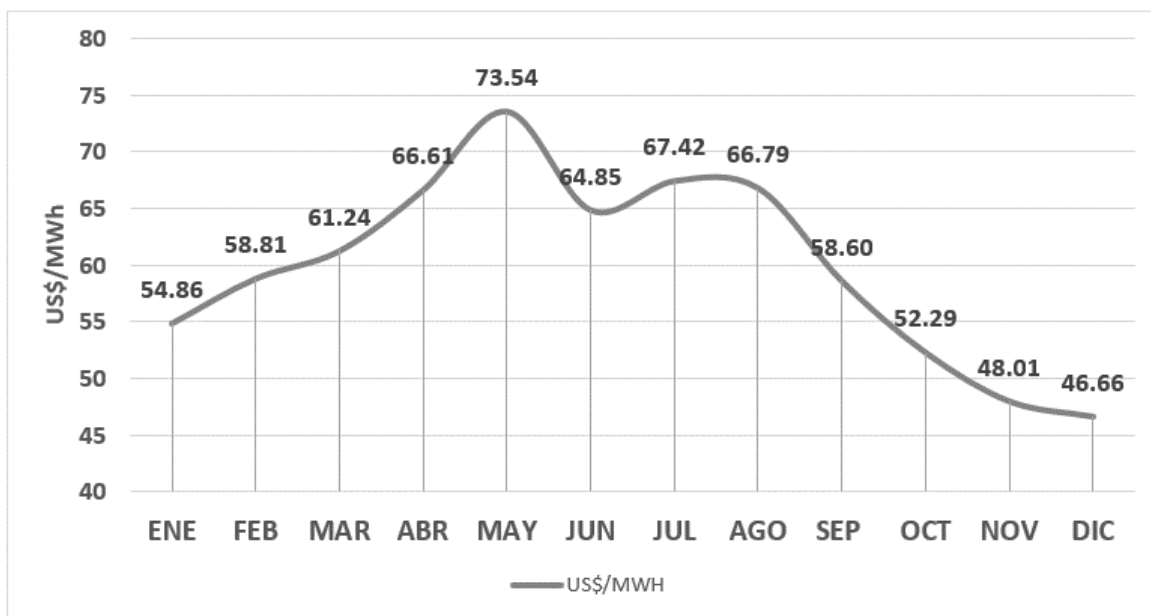


**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Precio SPOT-Anual.

Se puede observar que en el año 2015 el precio Spot promedio estaba demasiado alto, uno de los motivos de este precio era por encarecimiento de los combustibles fósiles, ya que parte de la capacidad instalada de energía que tiene Guatemala depende de estos para la generación de energía eléctrica.

En la siguiente gráfica se realizó un promedio de los precios Spot de los años del 2015 al 2016 para observar los meses con mayor y menor precio.

**Gráfica 20. Precio spot promedio mensual de Guatemala US\$/MWh del 2015 al 2019.**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Precio SPOT-Anual.

Se observa en la gráfica anterior que en los meses que tienen un mayor precio es en el mes de mayo de 73.54 US\$/MWh y teniendo el precio más bajo en el mes de diciembre por 46.66 US\$/MWh, el comportamiento de estos precios se debe al cambio de estación de invierno y verano, se observa un alza en los precios spot en invierno que se debe probablemente al aumento de demanda y a que la energía solar y eólica son las más afectadas, por otro lado se tiene a las hidroeléctricas funcionando a máxima capacidad.

#### **4.1.5 Estrategias de comercialización**

Se verificó que el fin último que sigue el Mercado de Energía Regional es abastecer la demanda de la región al mínimo costo, para cumplir con este objetivo el MER



sigue varias estrategias que vienen a combatir las debilidades y problemas que se han presentado en la actualidad.

Como principales estrategias de comercialización del MER se tiene el desarrollo de políticas energéticas integradas a nivel regional que se enfoquen en contratos firmes a través de la Red interconectada para incentivar la integración de empresas al mercado.

La inversión de infraestructura de transmisión entre países para proporcionar una conexión más eficiente y realizar el intercambio de energía conservando los precios bajos.

Ampliar la participación en los mercados de cada país o sea aumentar el poder de mercado para influir en los precios ya que la concentración de monopolios no deja que el precio se regule por la ley de la oferta y la demanda si no que son precios influenciados por ellos mismos.

Cómo estrategias de comercialización del proyecto se identificaron las siguientes:

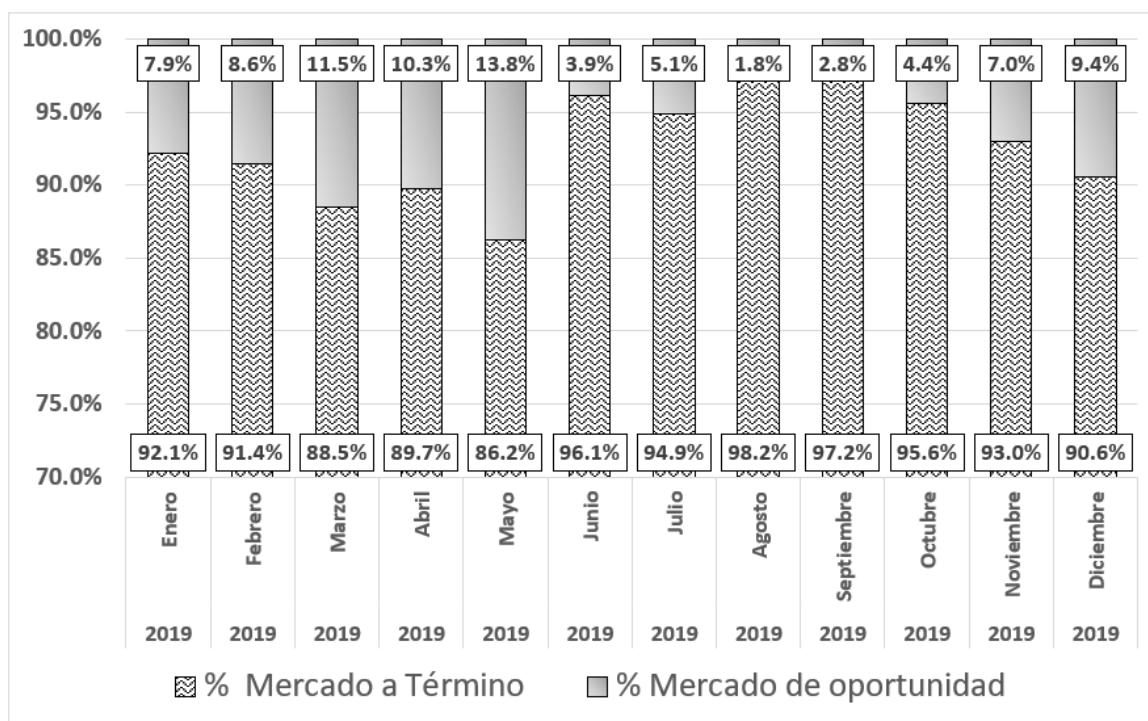
Buscar un PPA (Power Purchase Agreement) en español un contrato de compraventa de energía en las licitaciones abiertas que se realizan con grandes usuarios o en las comercializadoras que funcionan en el país, como por ejemplo (COMEGSA, EGGSA, ENERGUATE, MER, etc).

Participar en el Mercado de oportunidad o mercado spot en las licitaciones abiertas que se realicen a nivel nacional ante el AMM o con grandes usuarios.

Participar en licitaciones abiertas en el Mercado Eléctrico Regional.

En la siguiente gráfica se determinó el porcentaje de compraventa de energía generada en el territorio nacional.

**Gráfica 21. Porcentaje de Energía generada por tipo de compraventa**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), revista digital Análisis del mercado mayorista (2020).

En la gráfica anterior se puede observar que la negociación predominante a la hora de realizar la compraventa de energía es por mercado a Término (PPA), predominando en todos los meses del 2019.

## **4.2 Análisis de los aspectos técnicos fundamentales para el diseño de un proyecto eólico**

Se determinó dentro del estudio técnico aspectos fundamentales para la construcción del proyecto, entre estos se determinaron las características del sitio para el emplazamiento de la obra, las características del equipo y la ingeniería del proyecto.

### **4.2.1 Características del sitio para la ubicación del proyecto**

Uno de los principales estudios que se deben de realizar para ver la factibilidad del proyecto es la ubicación, ya que la ubicación depende de casi de un 100% del recurso eólico que haya en el área, existen otras variables a tomar en cuenta como el camino de acceso al sitio, accesos cercanos al Sistema Nacional Interconectado, el uso actual del suelo, aspectos sociales y las áreas protegidas que se encuentren en el lugar. Se determinó como macrolocalización el Municipio de Villa Canales, Guatemala por el precedente de estudios de potencial eólico que se han realizado en este.

#### **4.2.1.1 Topografía**

Uno de los criterios importantes a establecer para el emplazamiento de la obra es el estudio de la orografía y la topografía del lugar, esto es necesario para la realización de nuevos caminos internos o mejorar los existentes, obras de drenaje, cunetas, plataformas para la grúas y palas de los aerogeneradores que se utilizarán para la instalación, líneas de evacuación eléctrica, cimentaciones, subestación eléctrica y ver la proximidad a la red eléctrica.

En la figura siguiente se puede apreciar la topografía del sitio ubicado al oeste de la aldea el Jocotillo en el Municipio de Villa Canales para determinar los puntos clave donde se puede establecer el emplazamiento.

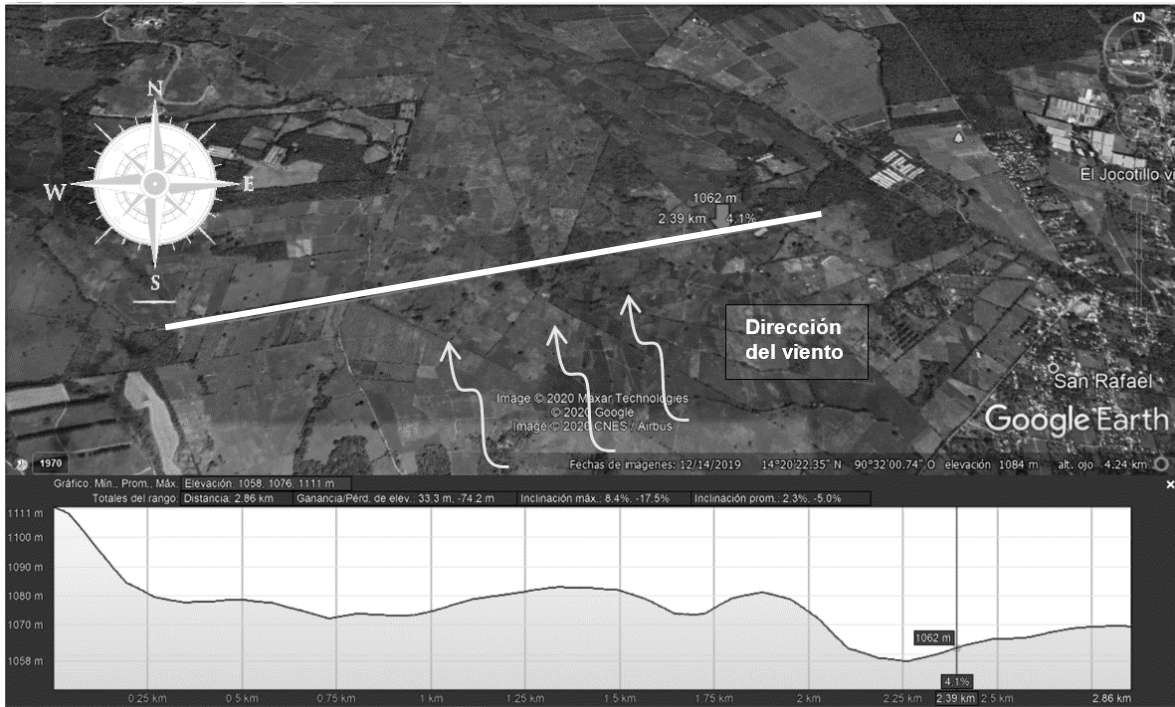
**Figura 12. Zona de Emplazamiento (Perfil de elevación paralelo en dirección del viento)**



**Fuente:** obtenido de Google earth (2020).

Como se puede observar en la gráfica anterior el perfil de elevación paralela a la dirección del viento que es hacia el noroeste posee un grado de inclinación que va de los 5° grados hasta llegar a un ángulo de inclinación de 15° grados.

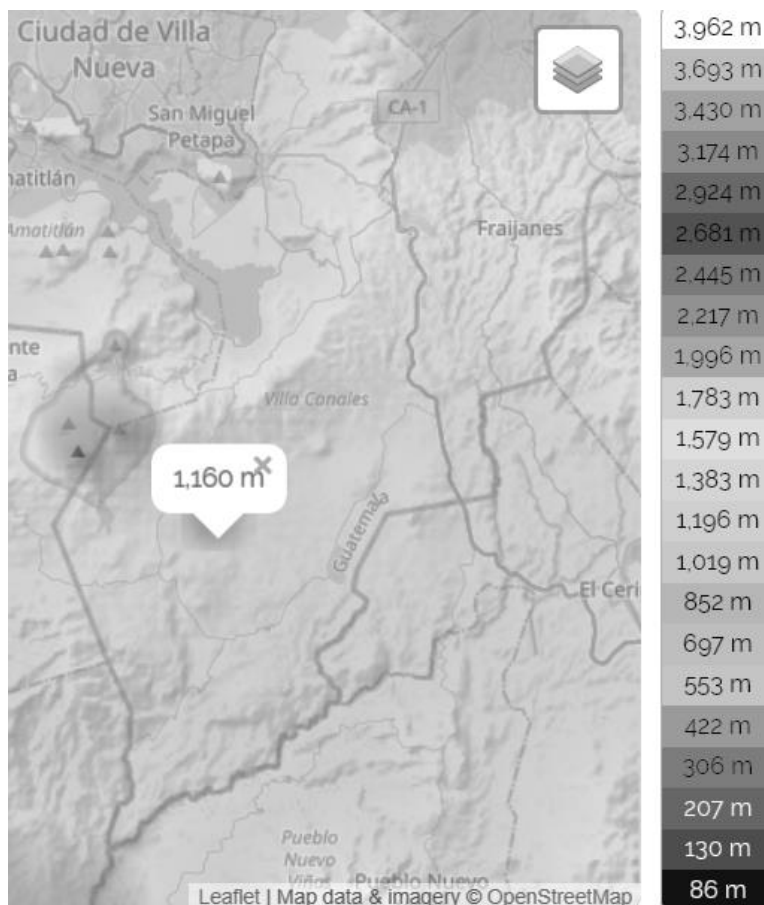
**Figura 13. Zona de Emplazamiento (Perfil de elevación transversal a la dirección del viento)**



**Fuente:** obtenido de Google earth (2020).

Se puede observar en las imágenes anteriores que en la zona de Villa Canales son terrenos llanos y ondulados los cuales permiten un paso del viento más continuo.

**Figura 14. Mapa de Altitud del municipio de Villa Canales Guatemala**



**Fuente:** Información obtenida de la página de topographic-map.com, Villa Canales, Guatemala.

Se puede observar que la zona potencial para el emplazamiento se encuentra a una altitud entre 1,019 msnm a 1,190 msnm. promedio sobre el nivel del mar.

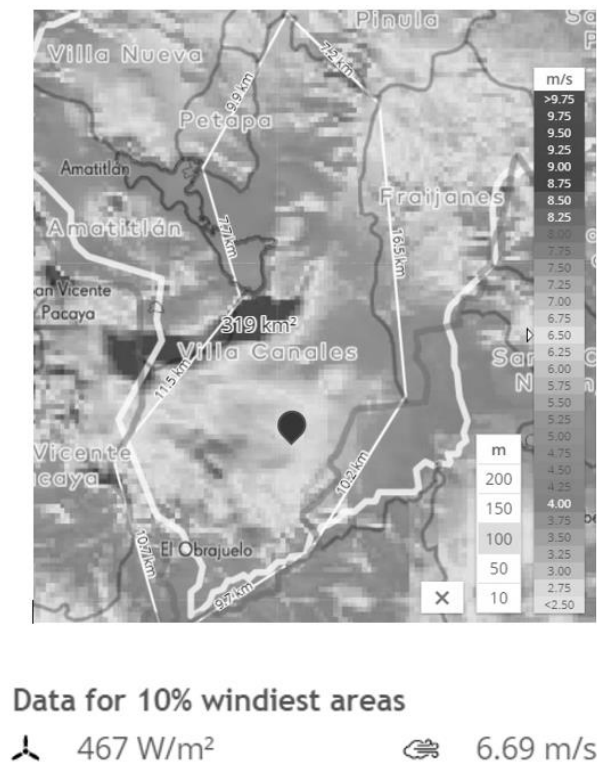
#### **4.2.1.2 Velocidad del Viento**

A continuación, se presenta el potencial del recurso eólico en el Municipio de Villa Canales el cual es fundamental para que los proveedores de los aerogeneradores puedan vender la maquinaria y sus componentes.

El estudio debe ser no menor a cinco años cuidando que los datos cumplan con estándares internacionales que obtengan las medidas de velocidad del viento cada

minuto, para esta labor se deben de utilizar los anemómetros y veletas, se requieren al menos tres anemómetros y veletas por cada mástil, el mástil puede medir desde los 30 mt a 60 mt, esto con la finalidad de obtener el mayor detalle del viento de la zona.

**Figura 15. Mapa eólico del municipio de Villa Canales, Guatemala.**



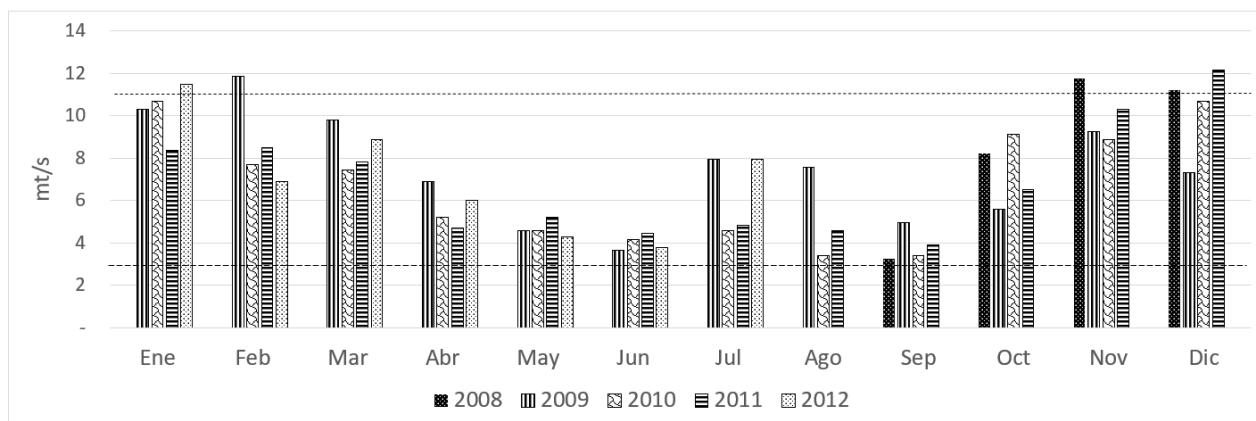
**Fuente:** Información obtenida de (Word Bank Group, 2020).

Se determinó por medio del sistema Global Wind Atlas que en el municipio de Villa Canales cuenta con velocidades de viento desde 4.50 metros por segundo a mayores de 9.75 m/s a una altura de 100 mt, el promedio de velocidad es de 6.69 m/s, el promedio no es muy útil ya que el viento es un recurso no controlable y se depende totalmente de él para el funcionamiento de los aerogeneradores y este a lo largo de las 24 horas puede tener diferentes velocidades y diferentes direcciones.

Como un estudio de la potencial eólico en el municipio de Villa Canales se tienen registros que este Municipio posee la densidad de aire más altas que van de los 200 a más de 800 W/m<sup>2</sup>, estableciéndolo como un potencial desarrollador de energía eólica.

A continuación, se observan los resultados que se obtuvieron de un proyecto de medición de viento ubicado en la finca La Concha, aldea El Jocotillo, municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala. La distancia de la ciudad de Guatemala al sitio es de 42 kilómetros a una altitud de 1,226 msnm de septiembre de 2008 a julio de 2012. (Dirección General de Energía, 2018).

**Gráfica 22. Velocidades de viento, promedio mensual en m/s, con factor de corrección a 90 mt de altura. Villa Canales, Guatemala.**



**Fuente:** Información obtenida de la (Dirección General de Energía, 2018).

En la gráfica anterior se puede observar que en los meses de octubre a marzo son los que registran mayor recurso eólico en la zona, y los meses de abril a septiembre los meses con el promedio más bajo de recurso eólico.

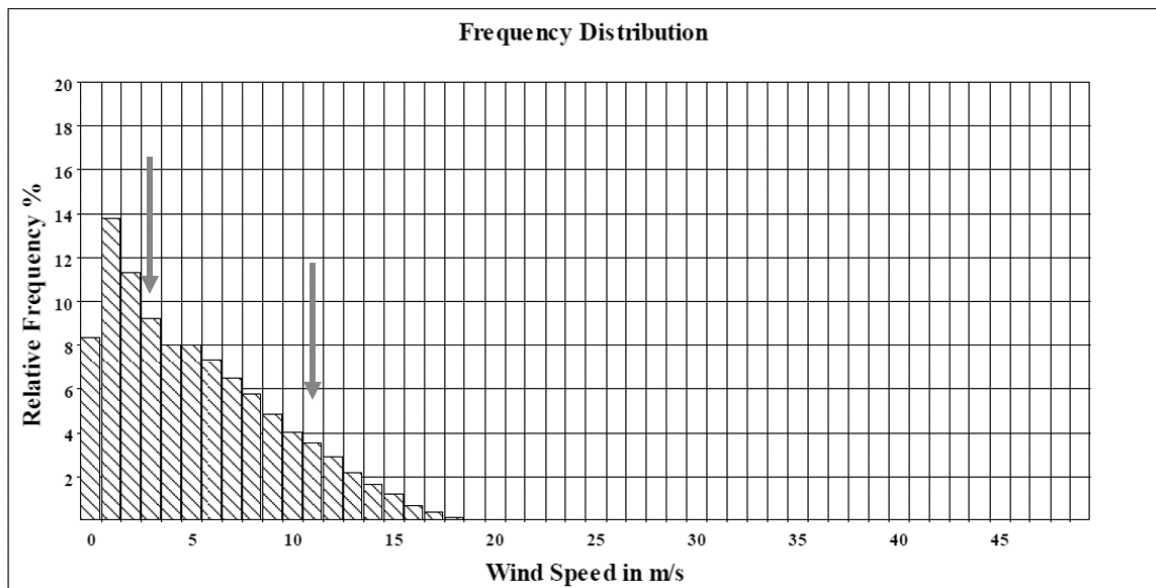
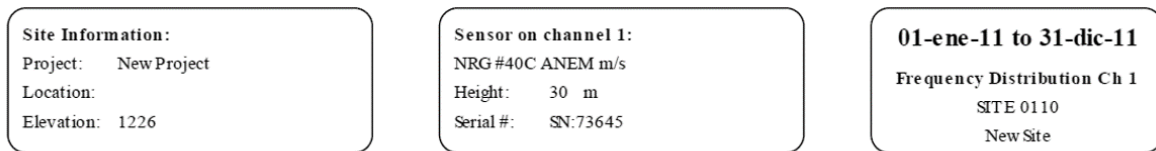
Se puede observar que en todos los meses de todos los años hay velocidades por encima de los 3 mt/s el cual es la velocidad de viento que se necesita para que un aerogenerador empiece a operar, así mismo, los meses de noviembre, diciembre enero y febrero se midieron velocidades por encima de los 11 mt/s lo cual son



velocidades nominales donde el aerogenerador llega a su máxima capacidad de generación.

A continuación, se presenta la frecuencia en porcentaje de las diferentes velocidades del viento que se obtuvieron en la medición.

**Gráfica 23. Frecuencia de la distribución de velocidades**

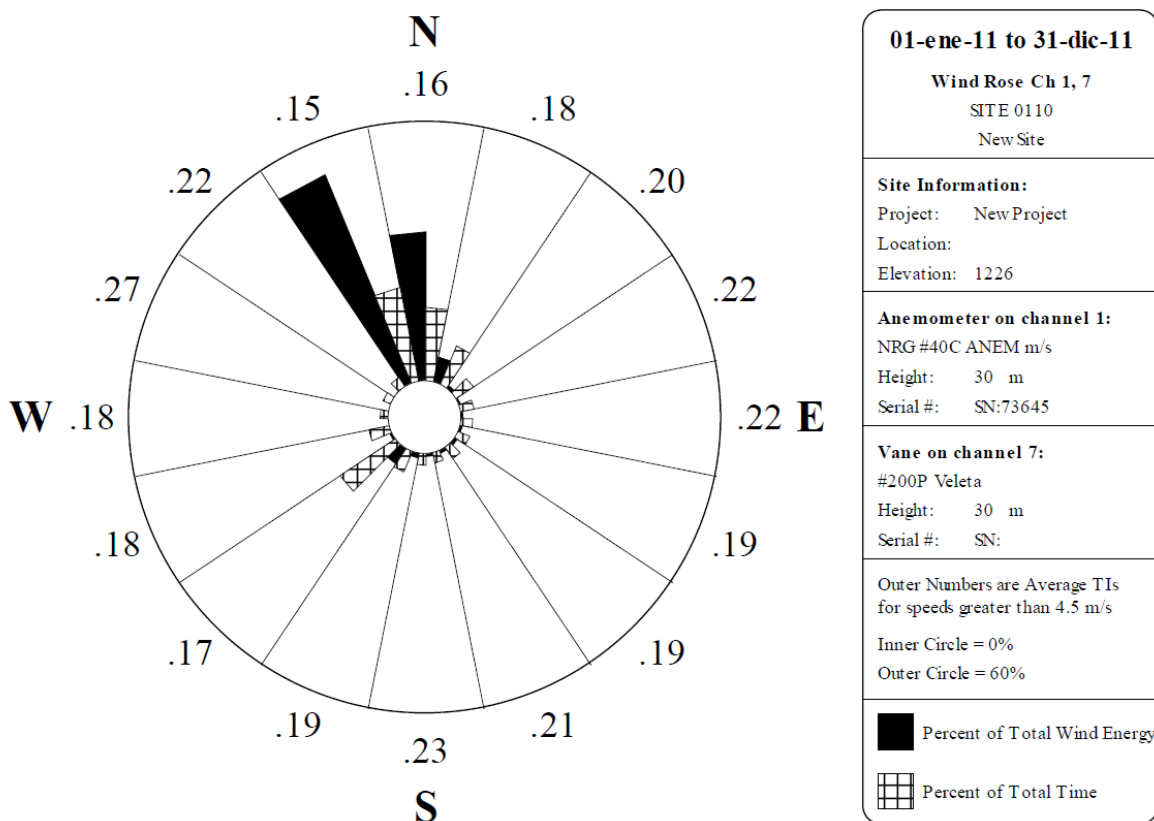


**Fuente:** Información obtenida de la (Dirección General de Energía, 2018).

Como se puede observar en la gráfica anterior aproximadamente el 12.15% de las veces el viento supera los 11 m/s, lo cual es la velocidad que se necesita para llegar a la potencia nominal en los aerogeneradores, pero se puede observar que el 78% de las veces la velocidad del viento se encuentra por encima de los 3 m/s que es la velocidad de arranque que necesitan los aerogeneradores.

También se presenta una gráfica de la dirección del viento de la zona evaluada.

**Gráfica 24. Dirección del Viento a 30 mt de altura.**



**Fuente:** Información obtenida de la (Dirección General de Energía, 2018).

Según la gráfica anterior llamada también la “Rosa del Viento” se observa que la dirección del viento predominante es la noroeste lo que significa que la mayor cantidad de energía se obtiene de esa dirección.

**4.2.1.3 Corrección por altura de la información eólica base**

En el mercado existen diferentes aerogeneradores con un eje a altura variable, por tal razón se realiza una corrección por altura para establecer una velocidad más real. El presente proyecto toma como una altura promedio de cada aerogenerador los 90 mt, el cual al profundizar el estudio se podrá realizar un cálculo de corrección de altura para cada aerogenerador propuesto.

El estudio del viento base es a 30 mt, así también se posee el factor de deslizamiento proporcionado por el anemómetro el cual se utiliza para calcular la velocidad del viento a diferentes alturas.

A continuación, se detalla el cálculo del factor de corrección:

$(H1/H2)^n = \text{Factor de Corrección por Altura.}$

Donde:

H1 = 90 m, es la altura de nuestro interés (nueva).

H2 = 30 m, es la altura base o de referencia.

n = 0.242, factor de deslizamiento promedio en proyecto analizado.

El resultado del factor de ajuste es  $(90/30)^{0.242} = 1.3046$

En la gráfica 22 ya se pueden observar las velocidades del viento con este factor de corrección de Altura.

#### **4.2.1.4 Caminos de acceso**

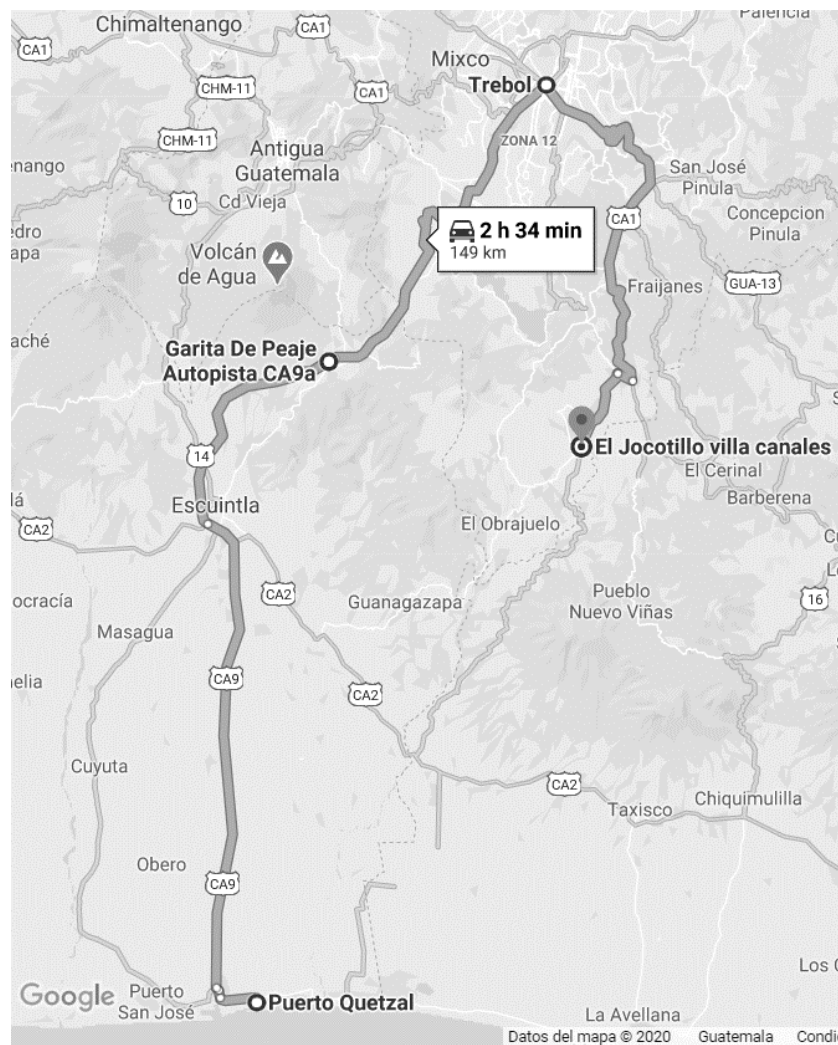
En este estudio se mapeó toda la ruta que debe de seguir la maquinaria desde la salida del puerto donde debe arribar la maquinaria hasta la llegada al sitio de instalación, se identificaron todos los puntos clave en la ruta física que pueden presentar un problema a la hora de trasladar las grandes piezas por lo largo de calles y avenidas hasta llegar al lugar de instalación. El tramo de Puerto Quetzal hacia el Trébol de la ciudad capital, no se encuentra ningún problema, ya que los tramos son en su mayoría rectos y ángulos más cerrados son de 65°. En la ciudad capital hacia el Jocotillo hay puntos de riesgo que son pasos a desnivel y pasarelas en los que hay que tomar precauciones.

Según la experiencia de los parques ya funcionando en Guatemala y por la entrevista realizada al experto, la complicación radica en la movilidad a través de las comunidades locales, y si hay fuertes lluvias, el traslado se puede complicar aún más.

A continuación, se presentan dos rutas potenciales para el traslado de la maquinaria y componentes para la construcción del parque eólico.

La ruta establecida no debe de tener topografía de 15 grados de inclinación y las curvas y construcciones deben de permitir giros de 20 a 25 mt.

**Figura 16. Ruta 1 de transporte de la maquinaria**



**Fuente:** mapa obtenido de Google maps (2020).

Una de las rutas es saliendo de Puerto Quetzal, se toma la ruta CA9 hasta llegar a la autopista, llegando a la ciudad de Guatemala, se busca el bulevar Liberación, luego se baja por carretera a El Salvador hasta llegar al Jocotillo, ya dentro de la comunidad se estaría movilizando por caminos internos de las fincas aledañas para llegar al sitio establecido.

**Figura 17. Ruta 2 de transporte de la maquinaria**



**Fuente:** mapa obtenido de Google maps (2020).

Otra ruta establecida es saliendo de Puerto Quetzal, se toma la ruta CA9 hasta llegar al cruce con la ruta CA2, ruta a Chiquimulilla, luego se busca el libramiento de Barberena hasta llegar al Jocotillo, ya dentro de la comunidad se estaría movilizándose por los caminos internos de las fincas aledañas para llegar al sitio establecido.

#### **4.2.1.5 Acceso al Sistema Nacional Interconectado**

Un aspecto importante para tener acceso al Sistema Nacional Interconectado (SIN) es la obtención de un contrato también llamado Power Purchase Agreement (PPA) por sus siglas en inglés con el Administrador de Mercado Mayorista (AMM), en este contrato es donde se establecen las condiciones de compraventa de potencia y energía a un precio fijo y en un periodo determinado, asegurando un ingreso a lo

largo de la vida útil del proyecto y generado una obligación de inyectar cierta cantidad de energía por día.

Si no se desea participar con un contrato, está la opción de participar libremente donde se realizan las transacciones de la energía al precio de oportunidad, precios SPOT, que es el costo máximo variable en que se incurre a cada hora para abastecer un KWH adicional. (Costo marginal a corto plazo).

#### **4.2.1.6 Acuerdos sobre caminos, zanjas, ocupación de suelo, subestaciones, limitaciones sobre construcciones.**

En la fase de negociación del terreno se harán contratos de usufructo por cada propietario dueño de los terrenos donde se hará el emplazamiento, así también por los derechos de paso que se necesiten para llevar el cableado de alta tensión al Sistema Interconectado Nacional, la cantidad de años por cada contrato debe de ser por la vida útil del proyecto más tres años que tarda todo este proceso de negociación y ejecución del proyecto. El uso actual del suelo es idóneo para la instalación del parque eólico ya que un 65% de los terrenos del sitio de Villa Canales son zonas cultivables de productos agrícolas de mediano tamaño como café y caña de azúcar y se puede llegar a un acuerdo con los propietarios para se continúen con los cultivos ya cuando el proyecto esté en operación.

#### **4.2.1.7 Aspectos Sociales**

Dentro de las pocas desventajas que conlleva el desarrollo del parque eólico se tiene el flickering que es un efecto visual y el sonido que hace el aspa a la hora de romper el viento, si hay viviendas cerca al molino posiblemente estos efectos causen estrés y ansiedad en los habitantes cercanos, por tal razón el proyecto debe de contemplar la retribución de estos problemas a la comunidad cercana, es por eso que se debe de establecer dentro del plan social empresarial compensar directamente o indirectamente a la comunidad por medio de mejoramiento de caminos, donaciones a escuelas y bomberos, campañas médicas y actividades para

generar ingresos para la familia, dedicando un rubro dentro del presupuesto de gastos para desarrollar estos compensadores sociales y así crea un clima agradable, reducir hostilidades y fortalecer la comunicación social empresarial.

#### **4.2.1.8 Aspectos Socioeconómicos de Villa Canales**

De acuerdo con el censo de población y vivienda del 2018 en el Municipio de Villa Canales cuenta con una población de 155,422 habitantes la cual un 10.09% es analfabeta, un 80.22% de la población vive en el área urbana y un 19.78% vive en el área rural. El 97.1% de la población cuenta con energía eléctrica en sus casas y un 36.30% accesos a drenajes, así mismo en los aspectos de vivienda se contabilizaron 43,706 de las cuales el material predominante en las paredes de las casas son el ladrillo, block y concreto con un 79.92%, la lámina como techo se encuentra en un 68.80% de las viviendas y el tipo de suelo es tierra en un 12.40%. (Instituto Nacional de Estadística, 2018).

La economía de Villa Canales se basa en la agricultura y la industria, como productos agrícolas se tiene la siembra de jocote, izote, naranja, café, plantas ornamentales, caña de azúcar, piña, entre otras, así mismo, las industrias como Tabacalera Centroamericana S. A., Ingenio Santa Teresa, Pastas Alimenticias La Moderna S. A. dan mucho trabajo en el sector. (Municipalidad de Villa Canales, 2020).

La cabecera municipal se sitúa a 22 kilómetros de la ciudad de Guatemala por el acceso de la avenida hincapié que se ubica por la zona 13 de la Capital, así también cuenta con diversas rutas para llegar a las diferentes comunidades como Carretera a El Salvador (CA 1), Santa Catarina Pinula y Villa Nueva.

#### **4.2.1.9 Presencia de barreras vivas**

Por ser un área mayormente de cultivos se encuentra presencia de barreras vivas en las orillas de los cultivos ya que estas ayudan a minimizar la erosión del suelo en



tiempos de invierno, se puede determinar que la presencia de estas barreras no afectaría la construcción del parque siempre y cuando estén a una distancia prudencial del molino de viento para evitar daños a la maquinaria y turbulencia en los vientos.

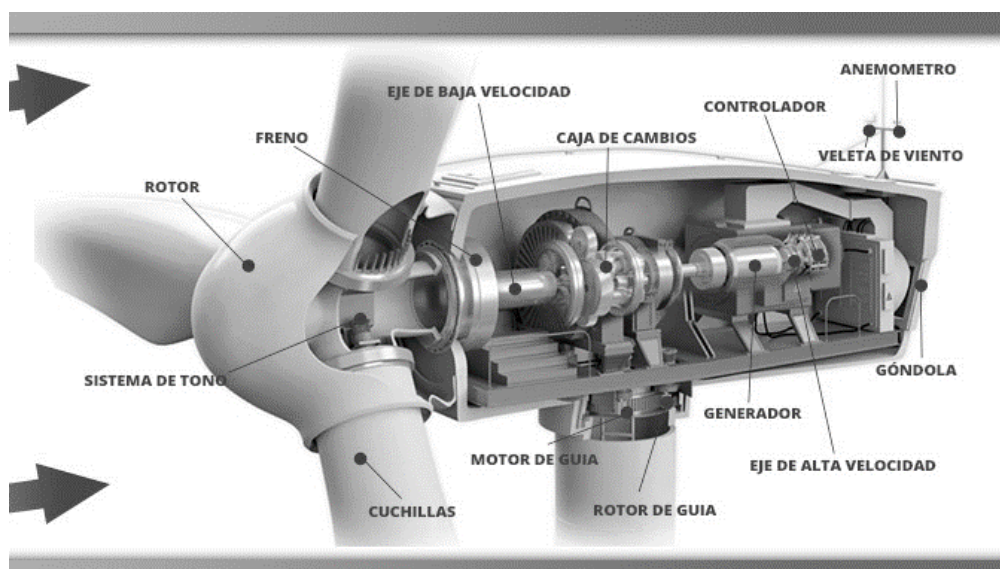
#### **4.2.2 Características de los equipos**

Los tipos de aerogenerador que se acoplan al proyecto son:

- a. El modelo de Vestas V117/3450 KW<sup>TM</sup> suministrado por el fabricante Vestas de Dinamarca con una potencia de 3.4 KW con un diámetro de 117 mt. Con tres palas, una torre que puede medir de los 91.5 m a 141.5 mt,
- b. El modelo SIEMENS Gamesa SG 3.4-145 con una potencia nominal de 3.465 MW, clase de viento IA / IIA, control de Paso y velocidad variable, diámetro de 132 mt, altura de 84 mt a 165mt según el sitio,
- c. El modelo GE 3.4-130 de la empresa estadounidense General Electric con una potencia nominal de 3,400 kW de un diámetro de 130 mt, clase de viento IEC IIb, altura de 85 mt a 155 mt según el sitio.

No se deja de mencionar que el proveedor donde se decida comprar el equipo brinda la asesoría para determinar qué equipo es el idóneo para el proyecto, basándose en las características del sitio que se desarrollaron en el estudio de factibilidad.

**Figura 18. Componentes de un Aerogenerador**



Fuente: imagen obtenida de World energy trade (2020).

### 4.2.3 Ingeniería del proyecto

En la ingeniería del proyecto se desarrollan los aspectos del tamaño del proyecto, la obra civil que se debe de construir, los caminos internos que comunican a los diferentes aerogeneradores y los equipos complementarios que se necesitan para el funcionamiento del parque.

#### 4.2.3.1 Cálculo de la capacidad a instalar en el territorio de 80 Ha

Se determinó con base al estudio de potencial eólico que el sitio seleccionado en Villa Canales cuenta con velocidades de viento que superan los 3 m/s que es la velocidad de arranque de los aerogeneradores por un 78% de las veces, dentro de la cual el 12.15% supera la velocidad nominal de 11 m/s (Ver gráfica 23).

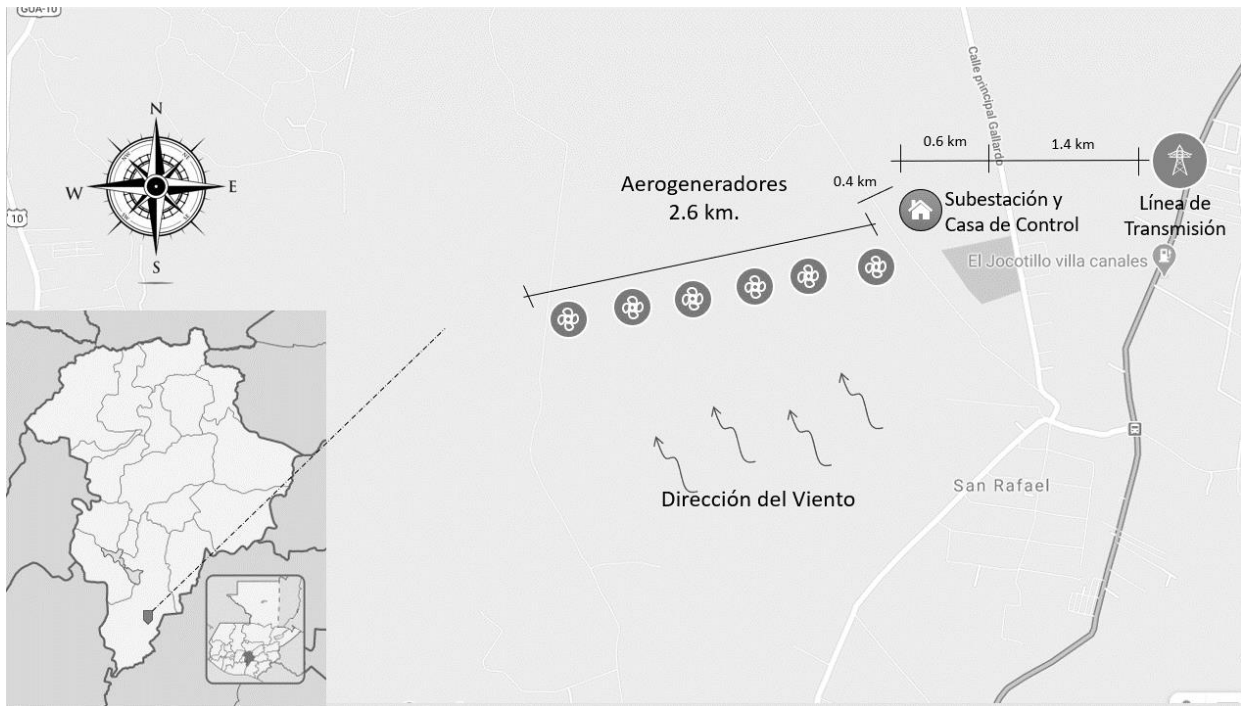
El diámetro de los aerogeneradores seleccionados tiene en promedio 120 mt los cuales son utilizados para establecer la distancia lineal entre cada uno, para el

aprovechamiento del espacio y potencial eólico cada aerogenerador se colocará a una distancia de 360 mt en línea recta uno del otro.

El territorio que se pretende negociar es de 80 Ha el cual será arrendado a los propietarios como usufructo por veintitrés años.

Para calcular la capacidad instala se toman los 360 mt de distancia que debe estar cada aerogenerador, se eleva al cuadrado para establecer la distancia alrededor del mismo dándonos  $129,600 \text{ mt}^2$ , se divide entre los  $10,000.00 \text{ mt}^2$  para convertirlo en hectáreas dando como resultado 12.96 Ha por aerogenerador, dividiendo las 80 Ha de territorio disponible por las 12.96 ha que necesita el aerogenerador da como resulta que la capacidad instalada del proyecto es de 6 aerogeneradores con potencia de 3.4 MW cada uno, dando como una capacidad instalada total del proyecto de 20.4 en MW.

**Figura 19. Mapa del emplazamiento del Parque Eólico en Villa Canales**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la investigación de 2020.

#### 4.2.3.2 Obra Civil

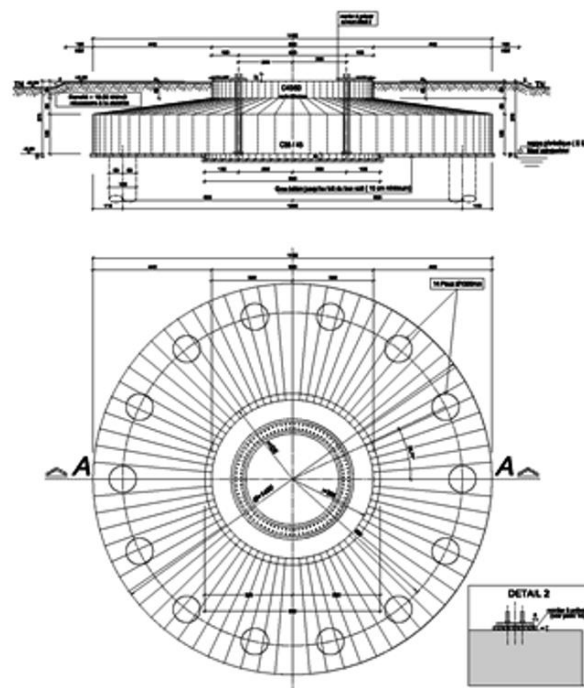
Para la obra civil del proyecto el mismo proveedor de los aerogeneradores se encarga de subcontratar a la firma constructora bajo la modalidad de llave en mano, para que la ejecución se haga efectiva.

La obra civil está conformada por diferentes fases entre las cuales se puede mencionar el diseño de estructura de cimentación o zapata, este diseño de la estructura metálica es mandado a realizar al extranjero, específicamente a alguna empresa que posea años de trayectoria en esta rama, luego el diseño se le proporciona a alguna entidad que realice estructuras metálicas dentro del país.

La excavación donde irá el armazón de hierro que son las bases de los aerogeneradores se construyen a partir de un agujero de 40 x 40 mt y de 3 a 5 mt de profundidad, una vez realizada la base se procede con el armado de la estructura metálica y fundición de la zapata.

A continuación, se puede observar el plano de la estructura metálica que irá en la zapata de la construcción.

**Figura 20. Plano de Cimentación y estructura metálica de la base.**



**Fuente:** información obtenida de CTE WIND, Company. (2015).

Para el montaje de los molinos de viento y aerogeneradores, se necesitan dos tipos de grúas, la primera de 200 toneladas la cual es más barata y fácil de movilizar, esta se utiliza para montar los primeros tramos. La segunda grúa es de 500 toneladas que servirá para el montaje del rotor y la góndola, el servicio de estas grúas es contactado por la empresa constructora.

Los cables de alta tensión son ubicados en zanjas que se construyen a un costado de los caminos de acceso y que van desde cada aerogenerador hacia la subestación elevadora y a su vez a una línea de interconexión que conecte la subestación con el sistema Interconectado nacional. Los cables cuentan con cubiertas de tierra y cubiertas específicas del cable, por lo que no están expuestos a la superficie.

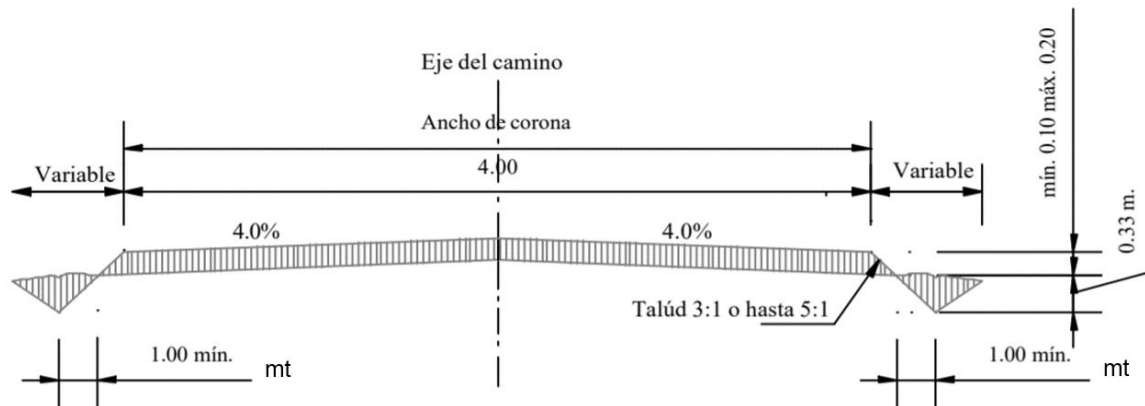
Dentro de las instalaciones básicas que servirán para cubrir las necesidades de almacenamiento, control, administración y seguridad, se tienen la casa de control que tendrá una longitud de 7 x 7mt donde funcionará la administración y monitoreo de los sistemas, así como la construcción de una bodega de 60 mt x 20 mt en los cuales se almacenarán repuestos y componentes de los aerogeneradores.

#### **4.2.3.3 Caminos Internos**

Tomando en cuenta los criterios de diseño mínimos para la construcción de caminos rurales, se estima que los remolques y los carros utilizados para llegar a cada uno de los aerogeneradores avanzaran a una velocidad máxima de 30 km/hora por lo que se requiere un radio de curva mínimo de 30 mt.

En la siguiente figura se establecen las dimensiones de forma transversal de los caminos a construir dentro del sitio, el cual comunicará la vía de acceso principal con cada uno de los aerogeneradores y la subestación, las dimensiones serán de 6 metros de ancho por 4 kilómetros de largo, así también se deben de realizar adecuaciones de los caminos existentes para el ingreso de los remosques.

**Figura 21. Sección transversal de Terreno plano en tangente para caminos rurales.**



**Fuente:** Extraído del Manual de caminos rurales con impacto mínimo de Caminos de Guatemala.

#### 4.2.3.4 Equipos complementarios

Subestación eléctrica elevadora debe de poseer transformadores con un bobinado inductor de baja tensión a un bobinado inducido de alta tensión para transformar la energía generada por el parque de mediana tensión (13,800V) a la red de alta tensión (69,000V), el motivo de esto es para disminuir las perdidas energéticas y reducir la sección de los cables a la hora de transferir la electricidad.

Los postes de alta tensión que van desde la subestación eléctrica del parque eólico hasta que se incluye la energía al Sistema Nacional Interconectado.

Todas las compañías hacen un contrato de mantenimiento de los aerogeneradores con los mismos proveedores aproximadamente por 10 años, esto para que no se pierda la garantía y así guardar el prestigio de la marca.

### **4.3 Análisis administrativo legal**

Se realizó el estudio administrativo del proyecto creando una estructura organizacional y un manual de puestos y funciones para el desarrollo del proyecto así también se listaron las diferentes leyes que intervienen a la hora de realizar proyectos de energía renovable.

#### **4.3.1 Estructura de propiedad**

La estructura de la propiedad de la empresa puede variar con forme según sean los fines de la persona individual o jurídica para el proyecto, este puede ser empresa individual, por alguna cooperativa, cartera de inversión familiar, un corporativo o bajo accionistas.

En primer lugar, el proyecto debe de ser registrado bajo una Sociedad Mercantil según lo indique el código de comercio en una escritura social y se debe de realizar un acta notarial de nombramiento de cada representante legal.

#### **4.3.2 Estructura administrativa**

Como resultado de la entrevista realizada a un experto se determinó al personal necesario para operar en un parque eólico. Se realizó un descriptor de puestos y perfiles, el organigrama del proyecto y al personal necesario que debe poseer un parque eólico.



#### 4.3.2.1 Descripción de puestos y perfiles

<b>1. Puesto: Gerente de Planta</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Programar y supervisar el mantenimiento de las instalaciones eólicas.</li> <li>2. Analizar, diseñar y plantear las inversiones en las instalaciones del parque eólico.</li> <li>3. Gestionar el recurso humano a su cargo.</li> <li>4. Planificación y ejecución del presupuesto de una forma eficiente.</li> <li>5. Implantar y ejecutar las políticas de calidad, medio ambiente y seguridad industrial.</li> <li>6. Desarrollar sistemas y procesos que hagan un seguimiento y optimicen la productividad, las mediciones y los objetivos de rendimiento para garantizar el retorno eficaz de los activos.</li> <li>7. Participar en las sesiones de formación del personal.</li> </ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formación universitaria en ingeniería orientada a la industria, mecánica, eléctrica o carrera a fin.</li> <li>2. Conocimiento sobre normativas y leyes medioambientales.</li> <li>3. Conocimientos de presupuesto y finanzas.</li> <li>4. Conocimiento en resolución de conflictos sociales.</li> <li>5. Experiencia en Coordinación y manejo de personal.</li> <li>6. Dispuesto a viajar al interior del país.</li> <li>7. Responsable y con buena actitud.</li> </ol>

<b>2. Puesto: Operadores de subestación eléctrica</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Ejecutar los trabajos de mantenimiento de subestaciones, supervisar los trabajos realizados por contratistas, garantizando el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad establecidos.</li><li>2. Realizar la puesta en marcha de las nuevas instalaciones y de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo de subestaciones.</li><li>3. Ejecutar las maniobras de operación requeridas por el Centro de Control, las maniobras autónomas previstas en los planes de reposición, garantizando la seguridad.</li><li>4. Prestar planeación de inspecciones y pruebas sintomáticas de rutina, así como la bitácora diaria.</li><li>5. Prevenir riesgos en instalaciones eléctricas de alta tensión.</li></ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Título nivel diversificado de carrera a fin y título técnicos que lo acredite como electricista.</li><li>2. Conocimiento sobre normativa de seguridad industrial y seguridad ambiental.</li><li>3. Dispuesto a viajar al interior de la república de Guatemala.</li><li>4. Responsable y trabajar bajo objetivos.</li><li>5. Experiencia en el uso de transformadores.</li></ol>

<b>3. Puesto: Persona encargada de Seguridad industrial y Salud ocupacional</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar y Evaluar riesgos en todos los puestos de trabajo.</li> <li>2. Realizar panorama de riesgos.</li> <li>3. Determinar las especificaciones de los equipos de protección personal por área de trabajo</li> <li>4. Organizar e integrar el Comité de Seguridad y Salud de los Trabajadores.</li> <li>5. Actualizar el reglamento de seguridad industrial ante el Ministerio de relaciones Laborales cada dos años</li> <li>6. Desarrollar cronograma de capacitación asociado a Seguridad Industrial.</li> <li>7. Dar seguimiento al mantenimiento de extintores, sistemas de prevención, alarmas y todos los equipos relacionados a Seguridad Industrial.</li> <li>8. Realizar las actualizaciones de los manuales de procedimientos de Seguridad Industrial.</li> <li>9. Elaborar el Presupuesto anual de Seguridad Industrial en conjunto con el Gerente de Planta.</li> </ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Título a nivel medio o Universitario. Cualquier carrera.</li> <li>2. Diplomado en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional/ Maestría en Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional</li> <li>3. Experiencia en Coordinación y manejo de personal.</li> <li>4. Dispuesto a viajar al interior del país.</li> <li>5. Responsable y con buena actitud.</li> <li>6. Contar con vehículo propio.</li> </ol>

<b>4. Puesto: Persona de Seguridad social y empresarial</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cualidades de líder</li><li>2. Capacidad de planificación, negociación y ser ordenado.</li><li>3. Excelente habilidad para la comunicación escrita y verbal.</li><li>4. Implementación y administración de programas de responsabilidad social empresarial y seguridad industrial.</li></ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Graduado o estudiante del último año de carrera universitaria con especialidad en ingeniería medio ambiental, ingeniería industrial o agronomía.</li><li>2. Disponibilidad para viajar al interior del país.</li><li>3. Contar con vehículo propio.</li><li>4. Experiencia previa como Coordinador de Responsabilidad Social Empresarial o Seguridad Industrial.</li><li>5. Asistir en la elaboración de políticas y estándares de procedimientos operativos.</li><li>6. Coordinar auditorías de en campo y bodegas, implementando planes de acciones correctivas.</li></ol>

<b>5. Puesto: Encargados de Mantenimiento de Generadores y palas de turbina</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Encargados de aprender y realizar procesos de mantenimiento simultáneamente con la empresa que dará el servicio.</li><li>2. Presentación de planeación de mantenimientos preventivos a realizarse.</li><li>3. Localización y corrección de fallos y averías.</li><li>4. Asistir a la puesta en marcha de los aerogeneradores.</li><li>5. Cumplimentación y mantenimiento de documentación específica.</li><li>6. Medida y reporte de indicadores clave y medición de objetivos del área.</li><li>7. Revisión, reparación y realización del mantenimiento preventivo y correctivo de palas de aerogeneradores.</li></ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"><li>1. Graduado de la Universidad en Ingeniería.</li><li>2. Diplomados en manejo de Energía y maquinaria industrial.</li><li>3. Conocimientos de normativa de protección al ambiente.</li><li>4. Certificado en trabajar en alturas.</li><li>5. Tener conocimiento de primeros auxilios, así como de rescate en alturas, rescate desde espacio reducido y evacuación de víctimas.</li><li>6. Licencia de conducir tipo A.</li><li>7. Conocimientos en Prevención de Riesgos de Construcción y sistemas eléctricos.</li></ol>

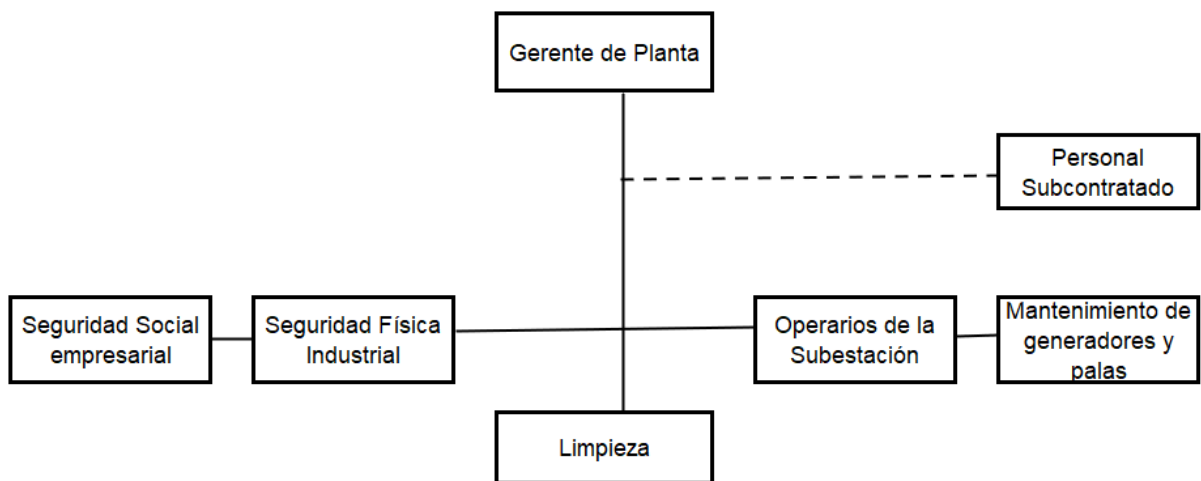
<b>6. Puesto: Encargado de limpieza.</b>
<b>Funciones</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Encargado de mantener limpia las instalaciones de la oficina y lugares cercanos a la torre de conexión.</li> <li>2. Reportar incidencias que se están dando dentro del parque eólico.</li> </ol>
<b>Perfil</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nivel de educación primario.</li> <li>2. Con buena actitud y dispuesto a colaborar en otras áreas.</li> <li>3. Que viva en alguna comunidad cercana.</li> </ol>

<b>7. Puesto: Personal Subcontratado (Mantenimiento de áreas verdes y seguridad)</b>
<b>Funciones</b>
<p><b>Mantenimiento de áreas Verdes</b> Realización de labores que mantengan el área del parque eólico presentable</p> <p><b>Seguridad</b> Encargados de velar por el Activo de la compañía durante todo el día.</p>
<b>Perfil</b>
<p><b>Mantenimiento de áreas Verdes</b> 1. Se contratará personal temporal cuando se necesite realizar cualquier labor El personal debe de ser de las comunidades cercanas y no siempre se debe de contratar al mismo personal para dar oportunidad a las personas que necesiten trabajar.</p> <p><b>Seguridad</b> Se contratará una empresa privada que trabaje en el sector para este puesto.</p>

### 4.3.2.2 Organigrama

La organización del proyecto va a depender de la capacidad instalada de la misma, en los resultados de la entrevista obtenida con un experto la organización general para un parque eólico es la siguiente.

**Figura 22. Organigrama para el proyecto del parque eólico.**



**Fuente:** Elaboración propia con base a la entrevista realizada a un experto (2020).

### 4.3.2.3 Personal

Con forme a los resultados obtenidos de la entrevista que se realizó a un experto se determinó al personal necesario para que un parque eólico entre en operaciones.

**Tabla 9. Personal Necesario para el mantenimiento de los aerogeneradores**

No. De personas	Descripción	Tipo de Trabajador
1	Gerente de planta	Permanente
2	Mantenimiento de generadores y palas	Permanente
1	Limpieza	Permanente
4	Operarios para la subestación	Permanente
4	Agentes de seguridad (Subcontratado)	Servicio
2	mantenimiento del área verde y labores varias	Eventual
<hr/>		
14		

**Fuente:** Elaboración propia con base a la entrevista realizada a un experto (2020)..

#### **4.3.3 Estructura de operación**

La operación del parque será de 24 horas los 7 días de la semana, los operarios de las subestaciones y de mantenimiento de la planta se dividirán en dos turnos de 11 horas diarias rotándose los descansos de fines de semana y teniendo una hora de almuerzo o de cena respectivamente.

Los trabajadores de oficina tendrán turnos de 10 horas de lunes a viernes descansando fines de semana.

Se desarrollan las principales leyes y reglamentos que rigen el sector eléctrico de Guatemala.



#### **4.3.4 Análisis legal**

A continuación, se desarrollan las principales leyes que rigen los proyectos de energía renovable, así como las diferentes licencias y permisos que se deben gestionar antes de entrar la inversión u operación del parque eólico.

##### **4.3.4.1 Constitución política de la República de Guatemala.**

“Artículo 44. Derechos inherentes a la persona humana. Los derechos y garantías que otorga la Constitución no excluyen otros que, aunque no figuren expresamente en ella, son inherentes a la persona humana. El interés social prevalece sobre el interés particular. Serán nulas ipso jure las leyes y las disposiciones gubernativas o de cualquier otro orden que disminuyan, restrinjan o tergiversen los derechos que la Constitución garantiza.”

“Artículo 46. Preeminencia del Derecho Internacional. Se establece el principio general de que, en materia de derechos humanos, los tratados y convenciones aceptados y ratificados por Guatemala, tienen preeminencia sobre el derecho interno.”

“Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.”

“Artículo 129.- Electrificación. Se declara de urgencia nacional, la electrificación del país, con base en planes formulados por el Estado y las municipalidades, en la cual podrá participar la iniciativa privada.”

“Artículo 130.- Prohibición de monopolios. Se prohíben los monopolios y privilegios. El Estado limitará el funcionamiento de las empresas que absorban o tiendan a

absorber, en perjuicio de la economía nacional, la producción en uno o más ramos industriales o de una misma actividad comercial o agropecuaria. Las leyes determinarán lo relativo a esta materia. El Estado protegerá la economía de mercado e impedirá las asociaciones que tiendan a restringir la libertad del mercado o a perjudicar a los consumidores.”

#### **4.3.4.2 Ley general de Electricidad (Decreto No. 93-96)**

Esta ley fue promulgada en 1996 con el objetivo de eliminar el monopolio que poseía el Instituto Nacional de electrificación en la generación, transmisión y distribución de energía pudiendo aumentar así la oferta de energía para satisfacer la demanda creciente.

“Artículo 1. La presente ley norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad, de acuerdo con los siguientes principios y enunciados:

Es libre la generación de electricidad y no se requiere para ello autorización o condición previa por parte del Estado, más que las reconocidas por la Constitución Política de la República de Guatemala y las leyes del país.”

Esta ley creó la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, y a este ministerio como el encargado de formular y coordinar las políticas relativas al sector eléctrico. Así también, se le dio vida jurídica al Administrador del Mercado Mayorista (AMM) como encargado de la coordinación del despacho de energía.

#### **4.3.4.3 Reglamento del Administrador de Mercado Mayorista. (Acuerdo gubernativo número 299-98)**

El objeto del presente reglamento es definir los principios generales del mercado mayorista, así como la organización, funciones, obligaciones y mecanismos de financiamiento.

“Artículo 3. Productos y servicios del mercado mayorista: Los productos y servicios que se compran y venden en el Mercado Mayorista son: a) Potencia eléctrica b) Energía eléctrica c) Servicios de transporte de energía eléctrica d) Servicios Complementarios.”

Y el Artículo 4. Operaciones de compra y venta del mercado mayorista. Indica que las operaciones de compra y venta del Mercado Mayorista se realizan a través de: a) Un Mercado de Oportunidad o Mercado Spot, b) Un Mercado a Término, para contratos entre Agentes o Grandes Usuarios y c) Un Mercado de Transacciones de Desvíos de Potencia diarios y mensuales.

#### **4.3.4.4 Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía renovable (Decreto número 52-2003)**

“Artículo 2. Objeto. La presente Ley tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.”

En el artículo 5 se especifican los incentivos que se otorga a las Municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación –INDE–, Empresas Mixtas, y las personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables entre las cuales se tienen:

Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado –IVA–, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable.

Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años.

Exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias –IEMA–. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años.

#### **4.3.4.5 Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto número 68-86)**

“Artículo 8. Para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente.”

#### **4.3.4.6 Reglamento de la Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía Renovable (Acuerdo Gubernativo No. 2011-2005).**

La presente ley tiene como objetivo desarrollar los preceptos normativos de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable y asegurar las condiciones adecuadas para la calificación y aplicación concreta de los incentivos establecidos en la indicada Ley.

Se establecen todos los pasos que el interesado del proyecto debe de cumplir para obtener la resolución del Ministerio de Energía y Minas que servirá para solicitar la aplicación de incentivos ante las Superintendencia de Administración Tributaria – SAT.

#### **4.3.4.7 Permisos y Licencias**

Como principal punto el propietario antes de empezar a realizar las gestiones ante el MEM, MARN, SAT y Municipalidad correspondiente se debe de inscribir la

sociedad jurídica en el Registro Mercantil para optar a la patente de empresa y de sociedad.

El siguiente permiso también es fundamental para darle viabilidad al proyecto el cual es el permiso del Ministerio de Energía y Minas – MEM con el cual ya se solicita ante la SAT la aplicación de los incentivos acompañando la certificación extendida por el MEM que acredita que desarrolla un proyecto de fuentes renovables de energía, así como la lista de los insumos, totales o parciales que efectivamente serán objeto de incentivos, en los casos que proceda. (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Así mismo la SAT emitirá la exención correspondiente al titular toda vez la resolución del MEM reúne los requisitos exigidos en el Reglamento, esto con un plazo no mayor a 30 días hábiles recibida la papelería. (Reglamento de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Acuerdo Gubernativo No.211-2005, 2005).

Dentro de las otras instituciones nacionales en las que hay que realizar gestiones para licencias o permisos son las siguientes:

- a) Comisión Nacional del Medio Ambiente, según Ley del Medio Ambiente (Decreto 68-86).
- b) Ministerio de Energía y Minas (Acuerdo Gubernativo No.211-2005).
- c) Instituto Nacional de Bosques -INAB- (Decreto No. 101-96), por la remoción de árboles y arbustos en la etapa de construcción del proyecto.
- d) Ante el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- (Decreto No. 4-89) para descartar que el sitio del emplazamiento sea un área protegida.
- e) Derechos de paso por terrenos privados para el trazo y construcción de la línea de transmisión con los dueños de los terrenos.
- f) Aprobación de la Empresa Eléctrica para el diseño y construcción de la línea de transmisión. Según Anexo resolución (CNEE-116-2017).

- g) Obtener el Número de Identificación Tributaria (NIT) ante la Superintendencia de Administración Tributaria - SAT.
- h) Registro ante el Administrado de Mercado Mayorista como Generador Distribuido Renovable (GDR) según La Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR- (Resolución CNEE No. 171-2008).
- i) Permiso de Construcción en la Municipalidad correspondiente.
- j) Tener Cerrado el trato de alquiler del terreno con el propietario o propietarios dos o tres años antes de que empiece el funcionamiento del parque eólico.
- k) Al ya haber socializado el proyecto en las comunidades cercanas, tener el visto bueno de éstas a través de los líderes comunitarios.
- l) De forma opcional se puede agremiar a la Asociación de Generadores con Energía Renovable (AGER).

#### **4.4 Análisis de impacto ambiental y medidas de mitigación**

Dentro del siguiente apartado se desarrolla el impacto que tiene el proyecto sobre el recurso biótico y abiótico del sector bajo la metodología de la matriz de Leopold, con finalidad de determinar la factibilidad del proyecto desde este punto de vista.

##### **4.4.1 Descripción del recurso abiótico**

Dentro de la descripción de lo que es el recurso abiótico se desarrolla el tipo de tierra, el clima y los movimientos de aire que se encuentran en el lugar.

###### **4.4.1.1 Tierra**

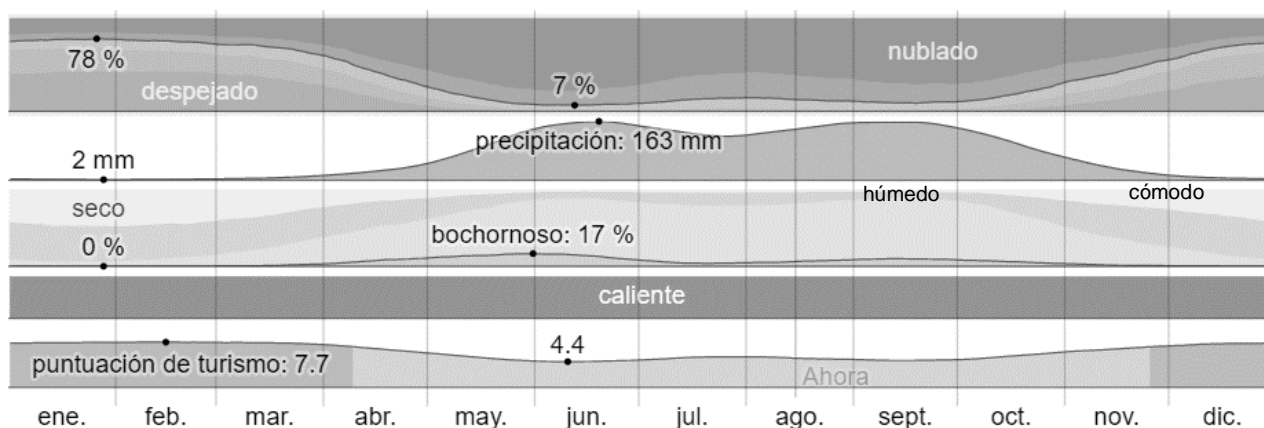
Según el Ministerio de agricultura, ganadería y Alimentación (2000) el Municipio de Villa Canales presenta suelos del tipo Aluvial no diferenciados y Morán (Ustands/Ustalfs) que van de un color café oscuro a café ligeramente claro los cuales son perfectos para cultivos y construcciones.

###### **4.4.1.2 Clima**

Durante un año la temperatura de Villa Canales varía de 14 °C a 28 °C muy escasamente fuera de este rango.

Se puede observar en la siguiente gráfica el comportamiento del clima en los aspectos de cielos nublados y despejados, precipitación, ambiente, temperatura y afluencia de turistas durante un año.

**Gráfica 25. Clima de Villa Canales durante un año**



**Fuente:** (whather Spark, 2020).

Se analiza la gráfica de arriba hacia abajo y se puede observar que los meses despejados empiezan en noviembre y terminan en abril de cada año siendo los meses de mayo a octubre los meses que presentan cielos nublados, continuando hacia abajo se puede observar que las lluvias empiezan a finales de abril y van terminando a mediados de noviembre, teniendo así casi 6 meses de lluvia en el municipio, siguiendo en la siguiente sección se ve el aspecto de humedad que va relacionado directamente con el de la precipitación, dejando los meses de diciembre a marzo como los más secos y de abril a noviembre los meses húmedos y cómodos, la temperatura se mantiene durante todo el año como caliente y los meses con mayor turismo son los meses de la época seca que van de finales de noviembre a abril de cada año.

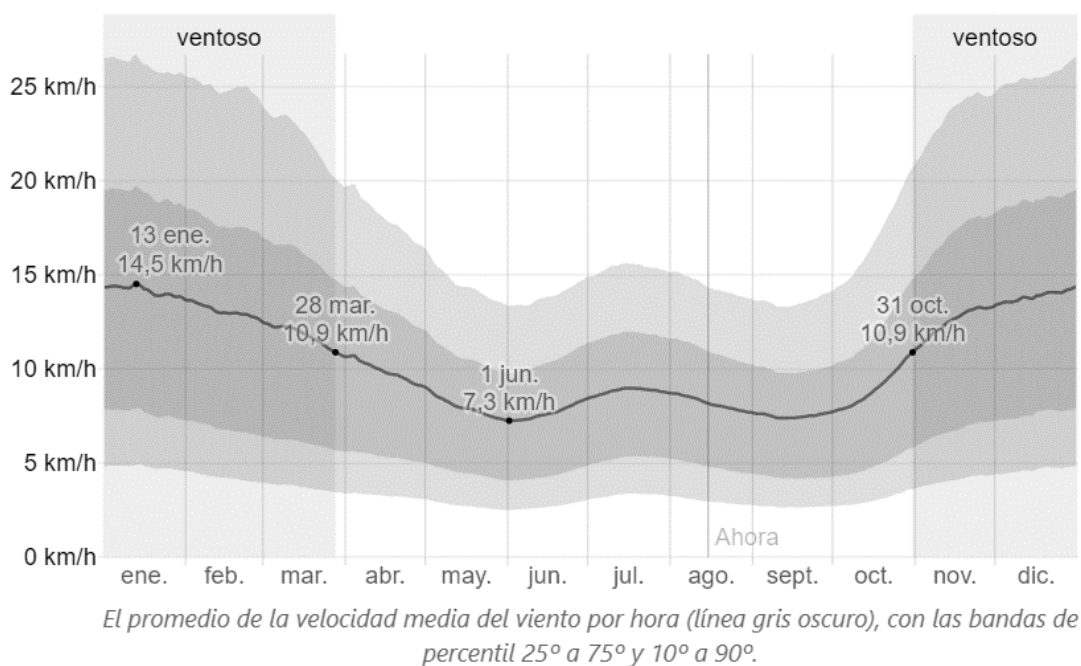
#### **4.4.1.3 Movimiento del aire**

Otro recurso abiótico importante se tiene el movimiento del aire, se puede observar en la siguiente gráfica el vector del viento a 10 mt. sobre el suelo, la velocidad del viento depende directamente por la superficie del terreno y tiene variaciones



frecuentes durante el día por lo que un promedio mensual no es la mejor opción para la toma de decisiones.

**Gráfica 26. Velocidad del Viento promedio mensual en Villa Canales, Guatemala a 10 mt de altura.**



**Fuente:** (whather Spark, 2020)

En la gráfica anterior se puede observar que los vientos más ventosos son de noviembre a marzo de cada año que van de los 10 KM/h a los 14 Km/h y los vientos menos fuertes en la época de invierno que va de abril a octubre de cada año bajando las velocidades promedio hasta 7 km/h.

#### 4.4.1.4 Agua

La masa de agua dulce más cercana al proyecto es el Lago de Amatitlán y se puede encontrar también aguas subterráneas las cuales son utilizadas para consumo propio de las poblaciones cercanas.

#### **4.4.2 Descripción del recurso biótico**

Dentro de lo que es el recurso biótico se tiene todo lo que sea un ser vivo dentro del sitio de impacto del proyecto, se dividirán en dos grandes grupos llamados Flora y Fauna.

##### **4.4.2.1 Flora**

La vegetación del sector es idónea porque se puede observar que la intervención humana ha estado en un grado medio ya que una buena parte de los terrenos están cultivados, el resto de área son barreras de bosques y área destinada para pastar animales de consumo propio.

El área cultivable y pastizales abarcan un 65% del lugar de estudio, el cual está destinado al cultivo de piña, café y caña de azúcar, esto es porque el área con mejor absorción de agua y con leve inclinación son destinadas a cultivos y el área inundable en tiempos de invierno son destinadas a pastizales.

Existen también áreas donde se puede encontrar diferentes especies de matorrales y árboles, estos están dentro las mismas fincas y se encuentran intactos para no impactar el medio biótico del área.

##### **4.4.2.2 Fauna**

La fauna que se puede encontrar en el entorno geográfico del proyecto se divide en dos distintas amplitudes territoriales las cuales están determinadas en los puntos de emplazamiento del parque eólico. El primero es basada específicamente alrededor de la ubicación de cada aerogenerador, aproximadamente un kilómetro alrededor del mismo y el segundo es un entorno más amplio el cual integra la región de la comunidad del Jocotillo abarcando la fauna que se encuentra a 400 km<sup>2</sup> del lugar del emplazamiento ya que la avifauna abarca territorios más grandes.

El inventario de especies de fauna que se realizó en el entorno de la ubicación y en el entorno más amplio son de tipos vertebrados terrestres (mamíferos, anfibios, aves y reptiles) ya que son los potencialmente más sensibles a la actividad humana y se descarta a priori a los peces por la falta de masas de agua.

#### **4.4.3 Valoración de impactos Matriz de Leopold**

La metodología que se utilizó para determinar la identificación de los impactos ambientales en las fases de construcción, operación y cancelación del proyecto fue la Matriz de Leopold.

Dentro de las actividades que representarán un impacto a la hora de llevar a cabo el proyecto del parque eólico en los diferentes componentes son:

El movimiento de tierra, el cual está constituido por la elaboración de la zapata donde irán montados las torres que cargarán a los aerogeneradores, las zanjas donde irán los cables que conducirán la energía eléctrica a la subestación elevadora, el área donde descansará la grúa y los componentes del molino de viento y la realización de caminos internos para el transporte de las grúas y camiones de carga, por otra parte la limpieza de vegetación que se encuentra en los alrededores de los puntos de instalación.

Etapa de construcción: se tiene el transporte y descarga de materiales de construcción, fundición de zapata para base del molino de viento, realización de caminos con selecto, construcción de subestación.

Etapa de Operación: se tiene el movimiento de las aspas de los aerogeneradores, los lubricantes que utiliza el equipo ya en funcionamiento, el efecto de sombra que provoca el movimiento de las aspas.

Etapa de Cancelación o abandono: se tienen los componentes de los molinos de viento, la demolición de las bases de concreto y los desechos de construcción.

**Tabla 10. Resumen de la Matriz de Leopold, Parque Eólico Villa Canales**

	<b>Componentes</b>	<b>Construcción</b>	<b>Operación</b>	<b>Cancelación</b>	<b>Sub Total</b>
<b>MEDIO ABIÓTICO</b>	Tierra	(231)	-	(53)	
	Agua	(4)	(18)	-	
	Atmósfera	(30)	117	(25)	
	Procesos	(49)	(9)	(6)	(308)
<b>MEDIO BIÓTICO</b>	Flora	(282)	-	-	
	Fauna	(20)	(21)	3	(320)
<b>MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>	Usos del Territorio (Suelo)	(42)	-	(18)	
	Recreativos	57	94	6	
	Estéticos y de interés humar	91	164	(1)	
	Nivel cultural	144	24	32	
	Servicios e infraestructura	157	27	(133)	602
<b>RELACIONES ECOLÓGICAS</b>	Relaciones Ecológicas	1	-	-	1
<b>TOTALES</b>		<b>(208)</b>	<b>378</b>	<b>(195)</b>	
<b>IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO</b>				<b>(25)</b>	

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación 2020.

En el Anexo 2 se puede encontrar la Matriz de Leopold ya con las valoraciones de las actividades que se incurren para realizar el proyecto en sus diferentes fases, con forme a los resultados obtenidos se puede interpretar lo siguiente:

a) Etapa de construcción

En esta etapa se posee un impacto total adverso de -208 puntos siendo el medio socioeconómico el único que tiene un impacto beneficioso en sus componentes de empleo y construcción de infraestructura, por otra parte, el medio abiótico y biótico posee un mayor impacto adverso por el movimiento de una gran cantidad de tierra, fundición de zapatas, etc. produciendo así un impacto sobre el suelo y la morfología del terreno en el sitio, por tal razón los esfuerzos deben ir dirigidos a estas actividades con mayor magnitud, así también hay un impacto menor sobre la

modificación de las características físico químicas de las aguas de escorrentía por la sedimentación del polvo de la construcción y la incorrecta utilización de los baños portátiles y los componentes de la fauna y flora son afectadas por la apertura de nuevos caminos para el acceso de los equipos, cimentación y plataformas para la instalación de los aerogeneradores, etc. Estos impactos establecidos son de muy corto plazo ya que estarán presentes por un aproximado de seis meses.

b) En la etapa de operación

Se observa un impacto total positivo de 378 puntos causado principalmente en el medio abiótico por el ahorro de emisión de gases de efecto invernadero que representa el proyecto hacia la atmosfera y en el medio Socioeconómico por la atracción del turismo al lugar y excursiones hacia el lugar por parte de interesados, así como las estructuras en funcionamiento. Este proyecto estaría generando un efecto positivo por veinte años, establecido así la viabilidad ambiental.

c) Etapa de cancelación o abandono

En esta etapa se observa un impacto adverso de -195 al medio ambiente en los componentes socioeconómicos, ya que se debe de desinstalar la infraestructura construida y en el componente abiótico se estaría afectando la calidad del aire a la hora de demoler las bases de las torres de los aerogeneradores y hacer el movimiento de tierra para rellenar los agujeros donde estaban instalados los aerogeneradores impactando nuevamente los suelos.

La matriz muestra un impacto adverso total mínimo de -25, según la tabla de valoración de impactos, el proyecto entra en la categoría de -25 a -36 que significa que es de un impacto adverso menor, ósea que no es significativo para el medio ambiente, no afectando así el bienestar de la sociedad con externalidades negativas. Por lo contrario, se desarrolló el plan de mitigaciones, contingencias y el de responsabilidad social empresarial, los cuales viene a contrarrestar los impactos adversos que se pudieran generar en cualquiera de las etapas del proyecto

generando externalidades positivas a las comunidades cercanas, creando así una inversión social mayor al costo social por la elaboración del proyecto.

#### **4.4.4 Categoría de proyecto**

Se buscó la categoría del proyecto en el Listado Taxativo de proyectos, obras, industrias y actividades del Ministerio de Ambiente y recursos Naturales, (Acuerdo Ministerial No. 199-2016, 2016), para establecer que información se debe de presentar al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para la viabilidad del proyecto.

Se observa en la siguiente figura que el punto 526 de la sección “D”, división 35 categoriza el proyecto del parque eólico como tipo “A” de Alto impacto Ambiental potencial o Riesgo ambiental por ser el proyecto mayor a 10MW de capacidad instalada, debiendo así entregar en oficinas del MARN un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) junto con un Diagnostico Ambiental donde se tratarán las acciones correctivas para mitigar el impacto adverso.

Figura 23. Listado Taxativo de proyectos, obras, industrias y actividades de Guatemala.

SECCIÓN "D"		SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS, VAPOR Y AIRE ACONDICIONADO				
DIVISION 35		SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS, VAPOR Y AIRE ACONDICIONADO				
GRUPO 351, 352, 353						
CATEGORIAS DE PROYECTOS, OBRAS, INDUSTRIAS O ACTIVIDADES		A	B1	B2	C	
DESCRIPCION	CLASE	De Alto Impacto Ambiental Potencial o Riesgo Ambiental	De Alto a Moderado Impacto Ambiental Potencial	De Moderado a Bajo Impacto Ambiental Potencial	De Bajo Impacto Ambiental Potencial	
524	Diseño, construcción y operación de redes para la generación de energía eléctrica a granel, transmisión desde las instalaciones de generación a los centros de distribución y distribución de energía eléctrica a usuarios finales.	3510		Mayor que 1,000 metros lineales en adelante	Mayor que 100 metros lineales y hasta 1,000 metros lineales	Hasta 100 metros lineales
525	Proyecto Hidroeléctrico	3510	Mayor de 10 MW	Mayor de 2 MW Y hasta 10 MW	Hasta 2 MW	
526	Diseño, construcción y operación de proyectos relacionados con actividades de generación de energía eléctrica a partir de fuentes eólicas	3510	Mayor de 10 MW	Mayor de 5 MW y hasta 10 MW	Hasta 5 MW	

Fuente: Obtenido del (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

#### 4.4.5 Medidas de mitigación

Variable Ambiental	Fuente generadora de impacto	Impacto ambiental	Medidas ambientales establecidas	Tiempo de ejecución de la medida	Responsable de su aplicación
Flora	Preparación del terreno	Eliminación de arbustos y gramíneas en el área de construcción de los aerogeneradores y caminos internos.	Jardinización y siembra de arbustos y arboles nativos del lugar en lugares estratégicos donde no perjudique al proyecto. Costo US\$ 10,000.00 anuales.	<b>Etapas de Operación:</b> De forma permanente a inicios del invierno, pero con una mayor actividad los primeros 5 años del proyecto.	Junta directiva responsable de la búsqueda de sitios para la plantación de árboles y arbustos. Gerente de planta responsable de donaciones de árboles frutales.
Fauna	Operación de los Molinos de Viento	La avifauna es la principal afectada por el movimiento de las aspas del molino de viento.	La velocidad del rotor no debe girar por encima de la velocidad internacionalmente establecida para minimizar el impacto con aves. Costo US\$ 0.00	<b>Etapas de Operación:</b> Se debe de monitorear de forma permanente la velocidad de las aspas.	Gerente de planta a través del área de control y monitoreo del equipo.
Hidrología (aguas, subterráneas y superficiales)	Aguas residuales	Durante la fase de construcción, operación y abandono hay un potencial en la contaminación de aguas por el inadecuado manejo de las excretas de los trabajadores.	Arrendamiento de sanitarios portátiles a una empresa que maneje adecuadamente los desechos sólidos y líquidos. Costo US\$ 14,000.00 total en la construcción y abandono.  En la etapa de operación se tiene diseñado construir dentro de la casa control sanitarios con fosa séptica. US\$ 1,500.00	<b>Etapas de construcción y abandono:</b> Durante el tiempo que dure la preparación y construcción del parque eólico que debe ser menor a un año.	Junta directiva a través del gerente de proyectos y gerente de la planta.
Calidad del Aire y ruido en el sector	Preparación del terreno previo a la construcción	Movimiento de tierras para la construcción de caminos internos y elaboración de Zapatas.  Movimiento de tierras en la fase de abandono del proyecto.	Contratar un camión cisterna para mantener un porcentaje de humedad en el área donde se está construyendo y vertiendo la tierra. Costo US\$ 4,400.00	<b>Etapas de construcción y abandono:</b> Durante el tiempo que dure la preparación del terreno que debe ser de 4 meses.	Junta directiva a través del gerente de proyectos.



<b>Variable Ambiental</b>	<b>Fuente generadora de impacto</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Medidas ambientales establecidas</b>	<b>Tiempo de ejecución de la medida</b>	<b>Responsable de su aplicación</b>
Calidad del Aire y ruido en el sector	Demolición de bases de Molinos de viento en la fase de Cancelación	Polvo y ruido a la hora de demoler las bases de concreto.	Utilización de Maquinaria adecuada para poder romper el concreto sin levantar el menor polvo posible y tener una humedad adecuada. El costo es asignado a la compañía constructora.	<b>Etapas de Abandono:</b> Durante el tiempo de Cancelación del proyecto que debe durar 3 meses.	Junta directiva a través del gerente de proyectos.
Recurso Humano y áreas de influencia.	Obra civil y operación del parque eólico.	Riesgo de accidentes en la etapa de construcción y abandono del proyecto por mal uso de Maquinaria y herramientas.	Establecer medidas de control y seguridad industrial en los trabajadores, así como ver que el equipo este en óptimas condiciones. US\$ 2,500.00	<b>Etapas de Construcción y abandono:</b> Se deben de dar el monitoreo durante las tres etapas del proyecto.	Junta directiva a través de la constructora contratada.
		Riesgo de accidentes en la etapa de operación del proyecto por no seguir procesos de seguridad y no darles el debido seguimiento a los sensores de alerta de los Molinos de Viento.	Tener un manual de seguridad industrial donde indique el equipo y procedimientos de seguridad previo a realizar el mantenimiento y tener señalizada el área. US\$ 1,000.00	<b>Etapas de Operación:</b> Permanente a lo largo de la vida útil del proyecto.	Gerente de planta a través del encarado de seguridad industrial.

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación 2020.

#### 4.4.6 Plan de contingencia

Amenazas durante operaciones diarias		Amenazas naturales		Salud Humana	
Descripción	Plan	Descripción	Plan	Descripción	Plan
Daño de algún componente de los molinos de viento	Revisar si se tiene en Inventarios el repuesto, contactarse con el proveedor de los aerogeneradores o empresa que presta el servicio.	Terremotos	Evacuación del personal a un área que este fuera de peligro, las torres de los aerogeneradores están diseñadas para soportar movimientos bruscos de tierra. No se le asigna ningún costo hasta evaluar los daños.	Enfermedades comunes tales como: dolor de cabeza, gastrointestinales, dolores musculares, etc.	Evaluar la situación presentada, para poder tomar la decisión de suministrar medicamentos o llevarlo a un centro asistencial de salud. Costo de Botiquín médico US\$ 200
Incendios forestales	1. Tener chapeado los alrededores de los aerogeneradores para no tener material inflamable en las temporadas secas. Costo US\$ 2,500.00 anual	Lluvias intensas, fuertes vientos e inundaciones	Suspensión de labores, la maquinaria se monitorea remotamente, tener al día el mantenimiento del sistema de frenado de los aerogeneradores. No se le asigna ningún costo ya que es parte del monitoreo diario.	Accidente laboral leve: rasguños o golpes leves	Aplicación de medidas de primeros auxilios utilizando el botiquín, posteriormente enviarlo a un centro de salud si es necesario. Costo US\$ 100.00
	2. Tener Extintores de 9 kg dentro de Cada Torre y casa control. Costo US\$ 600.00 compra total	Erupción del Volcán de Pacaya	Monitoreo de los canales de CONRED, evacuación del personal y monitoreo remoto de los molinos de viento. El costo asignado es la ayuda que se le brindará a las comunidades afectadas.	Accidente mayor: fracturas, lesiones mayores.	Aplicación de medidas de primeros auxilios y llamar a emergencias para realizar traslado a centro hospitalario. US\$ 200.00

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación 2020.

**Tabla 11. Costos de Mitigación**

<b>Costos de Mitigación</b>	<b>Construcción US\$</b>	<b>Operación anual US\$</b>	<b>Abandono US\$</b>
Jardinización y siembra de arbustos y árboles.		10,000	
Donaciones de árboles frutales en las comunidades.		5,000	
Arrendamiento de sanitarios portátiles.	14,000		12,000
Construcción de sanitarios con fosa séptica.	1,500		
Contratar camión cisterna.	4,400		4,400
Mantenimiento del equipo de seguridad industrial.	1,000	2,500	1,000
Elaboración del Manual de Seguridad Industrial.	1,000		
compra de 7 Extintores de 9 kg y su mantenimiento.	600	250	
Compra de Botiquín y herramientas para cirugía básica.	500	200	
Accidentes en horarios Laborales.	1,000	1,000	1,000
Labor de Chepeo en área de los aerogeneradores.		2,500	
<b>Total US\$ por etapa</b>	<b>24,000</b>	<b>21,450</b>	<b>18,400</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación 2020.

En la tabla anterior se puede observar los costos que se necesitaría incurrir el proyecto para mitigar los impactos adversos que genera la construcción y el abandono del proyecto que según la matriz de Leopold son las etapas que provocan un mayor desgaste al entorno ecológico donde se hará el emplazamiento.

#### **4.4.7 Plan de responsabilidad social empresarial (RSE)**

El plan propuesto a ejecutarse pretende mejorar los siguientes aspectos de las comunidades cercanas, así como los de sus colaboradores:

##### **4.4.7.1 Mejorar Calidad de Vida**

Se considera como de alta importancia la calidad de vida de los habitantes de las comunidades cercanas, así como la de los colaboradores, por tal razón se destinará parte del presupuesto de gastos anual un porcentaje para la realización de jornadas de salud como vacunaciones, chequeo de dientes, jornada oftalmológica,

mejoramiento de áreas de recreación, centros educativos y centros de salud que la necesiten, con el fin de crear un impacto positivo en el área.

#### **4.4.7.2 Planes de Capacitación**

Se mantendrán capacitados a los técnicos y al director de planta sobre aspectos técnicos y buenas prácticas que ayuden a aumentar la productividad de la planta, así como al personal de mantenimiento certificarlos para poder dar primeros auxilios para estar prevenidos ante cualquier eventualidad.

#### **4.4.7.3 Concientización del cuidado del medio ambiente**

Por ser una empresa que produce energía limpia, se deberán hacer charlas en las comunidades cercanas explicando el impacto positivo que la energía eólica aporta al planeta y lo fundamental que es cuidar del entorno que lo rodea. Se programarán charlas anuales en las municipalidades y centros educativos para dar a conocer los beneficios de proyectos como el nuestro.

#### **4.4.7.4 Otorgar trabajo en la comunidad**

Como el perfil de los trabajadores se necesita con estudios técnicos y profesionales específicos, se optó en hacer contrataciones rotativas de personas que necesiten trabajar en las comunidades cercanas para las labores varias que no necesiten conocimientos técnicos en el área. A estas personas se les estará pagando por sus servicios asignados por el gerente de planta. La empresa facturará con factura especial este tipo de gastos y absorberá los impuestos de esta para no afectar la remuneración pactada con el trabajador.

#### **4.4.7.5 Tours a Interesados en proyectos Renovables**

La empresa estará disponible para entidades o grupos de personas interesadas en conocer como es la operación del negocio, cobrando una tarifa significativa para apartar dicho Tour dentro de las instalaciones, esta actividad puede estar a cargo

de grupos y asociaciones locales de jóvenes y mujeres las cuales promoverán la visita al parque y administrarán los ingresos recaudados para el cumplimiento de los objetivos de la asociación.

#### **4.4.7.6 Reforestación de áreas verdes**

La empresa donará árboles frutales de la región para que las comunidades cercanas siembren en sus propios terrenos y puedan vender o tenerlos para autoconsumo, así también se destinará un porcentaje del presupuesto anual de gastos para comprar arboles nativos de la región para poder reforestar áreas deforestadas.

#### **4.4.7.7 Ayuda por desastres climáticos y naturales**

Guatemala por ser un país vulnerable a los efectos climáticos y naturales que impactan directamente en la sociedad causando daños en infraestructuras, caminos, cultivos, vida de personas, etc. la empresa ejecutará el presupuesto anual dedicado a los proyectos de responsabilidad social empresarial a ayudar a las comunidades cercanas que fuesen afectadas por estos fenómenos.

## **4.5 Análisis financiero**

En el presente apartado se detallan los gastos, costos e ingresos que genera el proyecto durante la vida útil que se determinó a 20 años, aclarando así también, que el proyecto Parque Eólico la moneda utilizada es el dólar estadounidense (US\$), esto por motivos que el sector energético esta dolarizado desde la compra de la maquinaria hasta la venta de energía, así también se minimiza el riesgo del tipo de cambio que el proyecto pueda tener por las fluctuaciones cambiarias a lo largo de estos veinte años.

Si se requiere realizar la conversión de los Dólares mostrados a la moneda nacional que son los Quetzales, el tipo de cambio según el Banco de Guatemala al 31 de diciembre de 2019 es de Q 7.69884 por US\$ 1.00 y la tasa promedio del 1 de enero de 2019 al 25 de septiembre de 2020 es de Q 7.69808 por US\$ 1.00. (Banco de Guatemala, 2020).

### **4.5.1 Análisis de Costos**

Dentro de este análisis se determinaron todos los costos y gastos que afectan al proyecto en las diferentes fases del proyecto como preinversión, inversión, operación y abandono.

#### **4.5.1.1 Costos en la etapa de Preinversión**

Dentro de los costos de la etapa de preinversión se tienen los estudios de factibilidad e ingeniería de detalle que fueron indispensables realizar para determinar la factibilidad y viabilidad del proyecto. Los estudios realizados durante esta etapa son: El estudio de Mercado, el estudio técnico, el estudio administrativo legal, el estudio ambiental y el estudio financiero, no está de más mencionar que dentro del estudio técnico se deben de hacer estudios independientes tales como anemometría, geología, capacidad y soporte del suelo, dictamen de capacidad eléctrica y el análisis de impacto a la red.

En la siguiente tabla se puede observar los estudios necesarios que se deben de realizar en la etapa de preinversión del proyecto para determinar su factibilidad y viabilidad.

**Tabla 12. Costo de la etapa de preinversión**

No.	Tipo de Estudio	Costo US\$
1	Estudio de Mercado	
2	Estudio Técnico	
	Anemometría	
	Geología	
	Capacidad de Soporte del suelo	
	Dictamen de Capacidad Eléctrica	
	Análisis de impacto a la Red	
3	Estudio Administrativo legal	
4	Estudio de impacto ambiental	
5	Estudio Social	
6	Estudio financiero	
	<b>Estudio Total Integrado</b>	<b>170,000.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación 2020.

Cada uno de estos estudios deben ser realizaos a un nivel de profundidad de factibilidad para minimizar el riesgo del proyecto, todos estos estudios deben ser realizados por firmas o personas especializadas en los mismos.

Así también se pretende negociar un préstamo financiando el 70% de la inversión del proyecto (tabla 14) a una tasa de interés activo del 6.75% en moneda extranjera a un plazo de 10 años teniendo un año de gracias.

**Tabla 13. Flujo del préstamo bancario en US\$**

<b>Variables</b>					
Monto US\$	15,602,300.00				
Plazo años	10.00				
Tasa de Interés	6.75%				
Periodo de Gracia	1				
Renta US\$	2,369,337.13				

<b>Año</b>	<b>Capital US\$</b>	<b>Interés US\$</b>	<b>Cuota Nivelada US\$</b>	<b>Pago de capital US\$</b>	<b>Saldo Insoluto US\$</b>
1	15,602,300.00	1,053,155.25	1,053,155.25	-	15,602,300.00
2	15,602,300.00	1,053,155.25	2,369,337.13	1,316,181.88	14,286,118.12
3	14,286,118.12	964,312.97	2,369,337.13	1,405,024.15	12,881,093.97
4	12,881,093.97	869,473.84	2,369,337.13	1,499,863.28	11,381,230.69
5	11,381,230.69	768,233.07	2,369,337.13	1,601,104.06	9,780,126.63
6	9,780,126.63	660,158.55	2,369,337.13	1,709,178.58	8,070,948.05
7	8,070,948.05	544,788.99	2,369,337.13	1,824,548.13	6,246,399.92
8	6,246,399.92	421,631.99	2,369,337.13	1,947,705.13	4,298,694.79
9	4,298,694.79	290,161.90	2,369,337.13	2,079,175.23	2,219,519.56
10	2,219,519.56	149,817.57	2,369,337.13	2,219,519.56	-
		6,774,889.39	22,377,189.39	15,602,300.00	

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Sé optó por solicitar un préstamo financiando el 70% de los costos de la etapa de Inversión (ver Tabla 14) obteniendo un préstamo de US\$15,602,300.00, se puede observar que el costo de la deuda asciende a 6,774,889.39 US\$ el cual se estará cancelando en los 10 primeros años del proyecto y teniendo un desembolso anual en temas de financiamiento de 2,369,337.13 US\$, el primer año es de gracias y únicamente se están desembolsando los intereses que corresponden a 1,053,155.25 US\$.



#### 4.5.1.2 Costos en la etapa de Inversión

Dentro el capital que se necesita para la construcción del proyecto se tienen rubros como la compra de la maquinaria puesta en el sitio, vehículos, obra civil, negociación del territorio, montaje eléctrico y conexión del sistema a la red nacional.

En la siguiente tabla se detallan todos los costos en los que se debe incurrir para la construcción del parque eólico.

**Tabla 14. Costos etapa de Inversión en US\$**

No.	Actividades y Activos	Sub. Total	Total US\$
1	Aerogeneradores instalados		20,400,000
2	Vehículos		25,000
3	Obra Civil		300,000
	Caminos	100,000	
	Bodega	100,000	
	Casa de Control	100,000	
4	Instalación Eléctrica		1,320,000
	Línea de subtransmisión	100,000	
	Líneas de interconexión	200,000	
	Subestación	1,020,000	
5	Derechos de Vía		50,000
6	Estudios de preinversión		170,000
7	Costo de Mitigación		24,000
Estudio Total Integrado			22,289,000

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

La inversión inicial da como resultado un monto total de 22,289,000.00 US\$ dentro de las cuales el costo de los aerogeneradores instalados representa el 91% de la inversión inicial y la construcción de la subestación un 6%.

#### 4.5.1.3 Costos en la etapa de operación

Durante el periodo de vida útil del proyecto que se estimó de 20 años se proyecta incurrir en los siguientes costos y gastos de forma anual.

Dentro de los costos se detallaron la mano de obra y los gastos indirectos del primer año, los cuales se desglosan a continuación:

**Tabla 15. Costos de Mano de Obra y Gastos indirectos del primer año en US\$**

No.	Actividades y Activos	Costo Anual US\$
I	Mano de Obra (MO)	
	Sueldos y salarios permanentes	91,538.46
	Sueldos y salarios temporales	9,230.77
	Seguro social	11,597.92
	Bonificación incentivo	3,461.54
	Aguinaldos / Bono 14 / Indemnización	23,750.00
	vacaciones	3,904.11
	<b>Total MO</b>	<b>143,482.80</b>
II	Gastos Indirectos (GI)	
	Arrendamiento del terreno	12,500.00
	Energía eléctrica	1,000.00
	Telecomunicaciones	750.00
	Mantenimiento de Vehículos	1,250.00
	Mantenimiento de Maquinaria y equipo industrial	200,000.00
	Mantenimiento de instalaciones	6,500.00
	Equipo de protección	7,000.00
	Seguridad y medio ambiente	5,000.00
	Seguro de Vehículos	800.00
	Costo de Mitigación	21,450.00
	Responsabilidad Social empresarial	70,000.00
	Seguridad y Vigilancia	3,200.00
	Depreciación de Inmueble	9,175.00
	Depreciación de maquinaria y equipo industrial	1,085,350.00
	Depreciación mobiliario y equipo	3,000.00
	Depreciación de Vehículos	5,000.00
	Depreciación equipo de computo	500.00
	Depreciación Mejoras a propiedad Arrendada	5,000.00
	Amortización de Activo Intangibles	12,200.00
	Amortización de software	650.00
	Ingresos y Gastos Financieros	-
	Gasto Intereses Préstamo bancario	1,053,155.25
	<b>Total GI</b>	<b>2,503,480.25</b>
	<b>Costo Total de Operación</b>	<b>2,646,963.05</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Se puede observar que el costo de la operación incurridos en el primer año de operación es de 2,646,963.05 US\$, los cuales son tomados de base para hacer las proyecciones en los siguientes diecinueve años.

#### 4.5.1.4 Costos e ingresos en la etapa de abandono

Al terminar la vida útil del proyecto se estima incurrir en los siguientes gastos e ingresos por el valor de desecho de la maquinaria, los cuales serán registrados el último año de funcionamiento. El valor de rescate de la maquinaria se estima en un 10% de su valor de adquisición.

**Tabla 16. Costos de la etapa de abandono**

No.	Actividades	Costo US\$
1	Desmantelamiento de aerogeneradores	
2	Obra Civil	
	Demolición de cimentación	
	Zanjas	
	Demolición de Subestación	
	Demolición de Casa de Control	
3	Desinstalación Eléctrica	
	Líneas de interconexión	
	Subestación	
	Líneas eléctricas de evacuación	
4	Traslado de equipos y materiales	
5	Costos de Mitigación de impactos	
	<b>Costo total etapa de abandono</b>	<b>5,000,000.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Los ingresos en los que puede incurrir el proyecto en la etapa de abandono se estiman en la venta de la maquinaria y equipo a un valor de desecho el cual se estima que será del 10% del total de la inversión en activos fijos.

**Tabla 17. Ingresos en la etapa de abandono**

No.	Actividades y Activos	Costo US\$
1	Ingresos por Venta de Activos Ventas de Activos Fijos a Valor de desecho	2,204,500.00
	Ingresos etapa de abandono	2,204,500.00

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

#### 4.5.2 Análisis de ingresos

En el siguiente cuadro se realiza el desglose de la generación efectiva de energía que producirá el parque eólico.

**Tabla 18. Caracterización de ingreso Anual**

Insumos Técnicos	Costo
Potencia instalada	20.40
Potencia de la turbina MW	3.40
Turbinas	6
Tarifa promedio por Kw/hr	0.06000
Energía Anual bruta KW	169,768,800
Factor de Carga	32%
Energía Neta Generada KW	54,326,016
Perdidas de Energía	15%
Energía Neta a Facturar KW	46,177,114
Factor de Capacidad Real	27.20%
Ingreso Total Anual US\$	2,770,627

**Fuente:** Elaboración propia con base a la información del Administrador de Mercado Mayorista (AMM, 2020), en la sección de resultados de la operación anual, reporte Precio SPOT-Anual.

La energía anual bruta, es la potencia que se pretende generar por 8,760 horas que tiene el año con un funcionamiento del 95% y el 5% restante representan

mantenimientos, así también se debe de considerar que el viento es un recurso libre y no controlable, por tal razón se determinó un factor de carga efectivo del 32% el cual mostrará la energía anual neta.

El factor de capacidad se determinó con base a la frecuencia de distribución de velocidad del viento del estudio de potencial eólico realizado indicando que el 12.15% de las veces el viento alcanza velocidades mayores a los 11 mt/s el cual se necesita para su velocidad nominal, y el 78% de las veces se encuentra entre 3 a 10 mt/s. por tal razón se utilizará como factor de capacidad el 32% y se estima una perdida en el proceso a la hora de generar y transportar la energía el cual se estima en del 15%.

El precio Spot se fija cada hora en función a los costos marginales de cada generador, en el presente informe se considera el precio por el promedio de los últimos cinco años según al AMM, el cual se establece en 60 US\$/MWh, como precio Máximo puede llegar a 73.54 US\$/MWh y como precio mínimo 46.66 US\$/MWh.

### 4.5.3 Flujo de caja del proyecto Parque Eólico

A continuación, se establece el flujo de caja a veinte años del proyecto.

Flujo neto de fondos											
Parque eólico en el Municipio de Villa Canales, Guatemala											
Cifras expresadas en US\$											
ESCENARIO BASE											
Detalle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KW vendidos		46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114
Precio de Venta KW		0.06000	0.06240	0.06490	0.06749	0.07019	0.07300	0.07592	0.07896	0.08211	0.08540
Ingresos		2,770,627	2,881,452	2,996,710	3,116,578	3,241,241	3,370,891	3,505,727	3,645,956	3,791,794	3,943,466
Venta de Activos Fijos											
Gastos de operación		(472,933)	(487,121)	(501,734)	(516,786)	(532,290)	(548,259)	(564,706)	(581,648)	(599,097)	(617,070)
Gastos etapa de abandono											
Depreciación y amortización		(1,120,875)	(1,120,875)	(1,120,875)	(1,120,375)	(1,120,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)
Intereses Préstamo Bancario		(1,053,155)	(1,053,155)	(964,313)	(869,474)	(768,233)	(660,159)	(544,789)	(421,632)	(290,162)	(149,818)
Ganancia bruta		123,664	220,301	409,788	609,943	820,343	1,050,099	1,283,856	1,530,301	1,790,160	2,064,203
Impuesto ISR 25%	25%										
Ganancia neta		-	123,664	220,301	409,788	609,943	820,343	1,050,099	1,283,856	1,530,301	1,790,160
Préstamo		15,602,300									
<b>Inversión inicial</b>		<b>(22,299,000)</b>									
Inmueble	183,500										
maquinaria y equipo industrial	21,707,000										
mobiliario y equipo	15,000										
Vehículos	25,000										
equipo computo	1,500										
Mejoras a propiedad Arrendada	100,000										
Activo Intangibles	244,000										
software	13,000										
Capital de Trabajo	10,000		(5,000)								
Depreciación y amortización		1,120,875	1,120,875	1,120,875	1,120,375	1,120,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375
Amortización de préstamo		\$ -	(1,316,182)	(1,405,024)	(1,499,863)	(1,601,104)	(1,709,179)	(1,824,548)	(1,947,705)	(2,079,175)	(2,219,520)
Valor de desecho											
Flujo neto de fondos		(6,696,700)	1,239,539	24,994	125,638	230,455	339,614	453,295	571,683	694,971	823,360
Flujo neto de fondos Descontados		(6,696,700)	1,143,380	21,267	98,609	166,843	226,798	279,232	324,840	398,076	426,820

**Flujo neto de fondos**  
**Parque eólico en el Municipio de Villa Canales, Guatemala**  
**Cifras expresadas en US\$**

ESCENARIO BASE	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
KW vendidos	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114	46,177,114
Precio de Venta KW	0.08881	0.09237	0.09606	0.09990	0.10390	0.10806	0.11238	0.11687	0.12155	0.12641
Ingresos	4,101,205	4,265,253	4,435,863	4,613,297	4,797,829	4,989,742	5,189,332	5,396,905	5,612,782	5,837,293
Venta de Activos Fijos										2,204,500
Gastos de operación	(635,582)	(654,650)	(674,289)	(694,518)	(715,353)	(736,814)	(758,918)	(781,686)	(805,136)	(829,291)
Gastos etapa de abandono										(5,000,000)
Depreciación y amortización	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)	(1,112,375)
Intereses Préstamo Bancario										
Ganancia bruta	2,353,247	2,498,228	2,649,199	2,806,405	2,970,101	3,140,553	3,318,039	3,502,844	3,695,270	1,100,127
Impuesto ISR 25%	(588,312)	(624,557)	(662,300)	(701,601)	(742,525)	(785,138)	(829,510)	(875,711)	(923,818)	(275,032)
Ganancia neta	1,764,936	1,873,671	1,986,899	2,104,803	2,227,576	2,355,415	2,488,529	2,627,133	2,771,453	825,095
Prestamo										
<b>Inversión inicial</b>										
Inmueble										
maquinaria y equipo industrial										
mobiliario y equipo										
Vehículos										
equipo computo										
Mejoras a propiedad Arrendada										
Activo Intangibles										
software										
Capital de Trabajo										15,000
Depreciación y amortización	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375	1,112,375
Amortización de préstamo										
Valor de desecho										(2,204,500)
Flujo neto de fondos	2,877,311	2,986,046	3,099,274	3,217,178	3,339,951	3,467,790	3,600,904	3,739,508	3,883,828	(252,030)
Flujo neto de fondos Descontados	1,183,652	1,133,090	1,084,822	1,038,734	994,718	952,672	912,500	874,110	837,418	(50,126)

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

#### 4.5.4 Índices de Rentabilidad

A continuación, se determinan los índices de rentabilidad del proyecto parque eólico en el Municipio de Villa Canales, Guatemala.

##### 4.5.4.1 Costo de Capital promedio ponderado (WACC)

Para el cálculo de la tasa de descuento o la tasa del costo de capital promedio ponderado se consideraron las siguientes tasas que rigen el mercado guatemalteco:

Según el Banco de Guatemala el sector energía tiene un crecimiento anual del 2.38%; Según el Instituto Nacional de Estadística el promedio de crecimiento de los último cinco años del índice de precios al consumidor es de 3.75%; según el Ministerio de Finanzas el interés generado por los bonos del tesoro de Guatemala es del 6.25% promedio, y según los bancos del sistema las tasas pasivas y activas para monedas extranjeras están en 4.68% y 6.75% según la moda.

**Tabla 19. Índices económicos de Guatemala**

Tasa GT	Descripción
2.38%	Rentabilidad promedio del Sector Energía
3.75%	Inflación promedio de los últimos 5 años
6.25%	Tasa libre de riesgo
4.68%	Tasa pasiva bancaria Moneda Extranjera
6.75%	Tasa Activa Bancaria Moneda Extranjera

**Fuente:** Información obtenida del Banco de Guatemala en la sección del PIB trimestral 2019, Instituto Nacional de Estadística en la sección del índice de precios al consumidor, Ministerio de Finanzas en la sección de Sala de prensa y bancos del sistema en la sección de tasas de interés activas y pasivas en moneda extranjera.

En la siguiente tabla se puede observar el cálculo para determinar el costo de capital promedio ponderado del proyecto para el descuento de los flujos futuros del proyecto.



**Tabla 20. Costo de Capital Promedio Ponderado**

---

Costo de Capital propio =  $i + f + (i * f)$

i = premio al Riesgo

f = Tasa de inflación

**a) Con rentabilidad promedio del sector**

$$CKp = 2.38\% + 3.75\% + (2.38\% * 3.75\%)$$

$$CKp = 6.22\%$$

**b) con Tasa libre de riesgo**

$$CKp = 6.25\% + 3.75\% + (6.25\% * 3.75\%)$$

$$CKp = 10.23\%$$

**c) Con Tasa pasiva Bancaria**

$$CKp = 4.68\% + 3.75\% + (4.68\% * 3.75\%)$$

$$CKp = 8.61\%$$

**Costo del Capital propio**

$$CKp = 8.35\%$$


---

**Costo del Capital Ajeno**

$$Ki = kd * (1 + i)$$

Ki = Costos después de impuestos del financiamiento

Kd = Tasa Activa Bancaria

t = Tasa Fiscal ISR

$$Ki = 6.75\% * (1 + 25\%)$$

$$Ki = 8.44\%$$

**Costo de Capital promedio ponderado (WACC)**

$$WACC = \left[ \begin{array}{cc} \% \text{ deuda} & * \\ \text{largo plazo} & \text{Costo deuda} \\ & \text{largo plazo} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{cc} \% \text{ Capital} & * \\ \text{propio} & \text{Costo} \\ & \text{Capital propio} \end{array} \right]$$

$$WACC = 70\% * 8.44\% + 30\% * 8.35\%$$

$$WACC = \underline{8.41\%}$$

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Según la operación realizada donde se calcula el costo de capital promedio ponderado del proyecto con base los datos propuestos la tasa es de 8.41%.

#### 4.5.4.2 Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno

A continuación, se determina el Valor Actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto para determinar la rentabilidad de este:

El valor actual neto se obtiene descontando los flujos por cada año transcurrido a una tasa de 8.41% a un plazo de veinte años dando como resultado un total de 5,715,015 US\$ el cual es mayor a cero por tal razón el proyecto es rentable.

**Tabla 21. Tasa Interna de Retorno**

VAN (+)	VAN (-)		
14.00%	1450.00%	R1 +	14.00%
315,828	(297,719)	R2 -	15.00%
		VAN +	315,828
		VAN -	(297,719)
<b>TIR</b>			<b>14.50%</b>

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

El proyecto muestra una TIR de 14.50% y una tasa de descuento de 8.41% lo cual muestra que el proyecto es viable ya que supera en 6.10% la expectativa de los inversionistas o lo que el proyecto necesita para cubrir la inversión inicial.

#### 4.5.4.3 Relación Beneficio Costo

Para determinar la relación Beneficio Costo se determinan los flujos descontados de ingresos y los flujos descontados de los gastos del proyecto a lo largo de la vida útil de este, al tener la sumatoria total de los flujos se le suma la inversión inicial al valor presente de los gastos y se divide la sumatoria de ingreso sobre la sumatoria de egresos con inversión inicial.

**Tabla 22. Relación Beneficio Costo**

<b>Descripción</b>	<b>Monto US\$</b>
Ingresos actualizados	35,885,347
Gastos actualizados + Inv. Inicial	28,832,993
Relación B/C	1.24

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Después de calcular la REL B/C al proyecto Parque Eólico y aplicar el criterio al mismo, se obtuvo una REL.  $B/C > 1$ , lo que indica que la asignación de recursos al mismo es eficiente debido que la corriente de ingresos brutos actualizados al 8.41% fue mayor que la corriente de costos actualizados al 8.41%, por lo tanto, se considera que el proyecto desde este punto de vista es rentable.

#### **4.5.4.4 Periodo de recuperación de la inversión**

Para determinar el Periodo de recuperación de la inversión se estableció el flujo neto de fondos descontados de los veinte años, con estos montos se realiza una columna de saldos acumulados durante toda la vida útil del proyecto, ya con la información establecida se ubica el saldo acumulado que sea superior a la inversión inicial, indicándonos que el periodo de recuperación se encuentra entre los 12 meses del año inmediato anterior. A continuación, se observa el cuadro de cálculo:

**Tabla 23. Periodo de Recuperación**

Año	FNF Descontado	Acumulado US\$	Inversión Inicial US\$
1	1,143,380	1,143,380	
2	21,267	1,164,647	
3	98,609	1,263,256	
4	166,843	1,430,099	
5	226,798	1,656,897	
6	279,232	1,936,129	
7	324,840	2,260,969	
8	364,260	2,625,229	
9	398,076	3,023,305	
10	426,820	3,450,125	
11	1,183,652	4,633,777	
12	1,133,090	5,766,867	6,696,700.00
13	1,084,822	6,851,689	
14	1,038,734	7,890,423	
15	994,718	8,885,141	
16	952,672	9,837,813	
17	912,500	10,750,312	
18	874,110	11,624,423	
19	837,418	12,461,841	
20	- 50,126	12,411,715	

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

De acuerdo con la tabla anterior, se pudo determinar que la inversión inicial se estaría recuperando en el primer bimestre del doceavo año.

#### 4.5.4.5 Índice de Rentabilidad

Aplicando la metodología para el cálculo del índice de rentabilidad y considerando el análisis aplicado al proyecto del parque eólico se determinó dividiendo la sumatoria de la inversión inicial más el valor presente neto del proyecto sobre la inversión inicial nuevamente.

**Tabla 24. índice de rentabilidad en US\$**

INV. INICIAL	VPN	Suma	IR
6,696,700	5,715,015	12,411,715	1.85

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Luego de realizar el análisis del Índice de Rentabilidad se determinó que, por cada US\$. 1.00 invertido se está ganando US\$ 0.85.

#### 4.5.5 Análisis de Sensibilidad

Dentro del análisis de sensibilidad se realizaron cuatro escenarios adicionales al escenario base, en el escenario dos se disminuyen los ingresos un 5%, en el escenario tres se aumentan los gastos de operación un 5%, en el escenario cuatro se realiza la rentabilidad del proyecto ósea un escenario sin financiamiento y en el escenario cinco se establece el proyecto con un factor de Carga del 25%.

A continuación, se presenta la tabla comparativa de los principales indicadores financieros del proyecto.

**Tabla 25. Análisis de Sensibilidad Proyecto Parque Eólico**

Indicadores	Escenario 1 Base	Escenario 2 Dism. Ingresos 5%	Escenario 3 Aumen. De gastos 5%	Escenario 4 Sin Financiamiento	Escenario 5 disminución del factor de carga a 25%
WACC	8.41%	8.41%	8.41%	8.41%	8.41%
VAN	5,715,015	4,118,860	5,461,174	4,507,217	(1,268,161)
TIR	14.50%	12.79%	14.22%	10.92%	7.04%
RBC	1.24	1.18	1.23	0.91	0.98
PRI	12 años	13 años	12 años	13 años	mayor a los 20 años
IR	1.85	1.62	1.82	1.20	0.81

**Fuente:** Elaboración propia con base a los resultados de la investigación de 2020.

Luego de haber realizado el análisis financiero del proyecto del parque eólico y haber aplicado el análisis de sensibilidad al mismo, se puede observar que el rubro de ingresos en el escenario 2 es el más sensible a cambios ya que su TIR disminuye un 1.71% con relación al escenario base y el retorno de inversión aumentaría a 13 años. Así mismo se determinó en el escenario cinco siempre relacionado a los ingresos, solo que disminuyendo el factor de carga de 32% a un 25% los índices financieros no son rentables para el inversionista determinado así que el proyecto empieza a ser rentable con un factor de carga del 27%.

Comparando el escenario base llamado Rentabilidad del inversionista con el escenario cuatro llamado Rentabilidad del Proyecto se determinó que un escenario sin financiamiento es menos rentable ya que la TIR disminuye un 3.58% y el índice de relación beneficio costo es menor a uno, indicándonos que en la operación el proyecto los costos o gastos descontados serán mayores a los ingresos descontados.

#### **4.6 Resultado de las Entrevistas**

A continuación, se desarrollan los resultados más relevantes obtenidos de la entrevista realizada a dos expertos, uno como desarrollador de proyectos energéticos en la empresa Multi Inversiones, S.A en la sección de capital, mencionado como (E1) y la otra persona es Ingeniero mecánico industrial experto en energía eólica con experiencia en ejecución de proyectos de parques eólicos a nivel centroamericano, mencionado como (E2):

#### **PREGUNTAS GENERALES**

##### **1. ¿Cuál es la situación actual en la región y como se ve a 10 años?**

E1 – En la situación actual se ve que la matriz energética va cambiando hacia las energías renovables, así también cada vez hay más licitaciones específicas de parte de las distribuidoras para obtener energía limpia y crear una imagen responsable a las marcas. A diez años se ve que la energía solar sea más desarrollada en Centroamérica.

E2 – Actualmente los proyectos están estancados ya que este tipo de energía dependen mucho de un recurso inestable y no controlable, lo cual dificulta que se pueda prever o proyectar los entregables de esta. A diez años se ve que la energía solar sea más desarrollada en Centroamérica.

##### **2. ¿Qué características debe de tener el país de Guatemala para desarrollar de una forma óptima la energía eólica?**

E1 – El país debe de voltearse a desarrollar este tipo de energía, tener accesos a los lugares con potenciales eólicos y que el gobierno mantenga las condiciones pactadas al comienzo.

E2 – La iniciativa privada es la que tiene mapeada ese potencial eólico, pero el país de Guatemala tiene problemas de accesos y más en las comunidades que tienen calles pequeñas.

### **3. ¿Cómo ha visto el papel que juega AGER (asociación de generadores con Energía Renovable) en Guatemala?**

E1 – Trae beneficios para los agremiados ya que se mueve como un solo ente y tiene más fuerza ya que cuenta con el apoyo de todas las empresas que generan energía eléctrica renovable.

E2 – Si son de mucha ayuda ya que hay soporte a la hora de hacer trámites ante la comisión nacional de energía eléctrica y ante el AMM.

Como comentario actualmente hay universidades que imparten postgrados orientados a Energías renovables, sin embargo, no específicamente energía eólica.

### **4. ¿Se han presentado inconvenientes en el desarrollo de proyectos por el factor de mano de obra calificada?**

E1 – No se han presentado inconvenientes ya que, en temas de construcción, realización de caminos, cimentación o realización de zapatas no se necesita capacitación ya que un ingeniero civil tiene ese conocimiento, lo único que se hace en el extranjero es el diseño de la estructura metálica de la base y se mandan a elaborar por pieza a alguna empresa que maneje aceros dentro del país.

En la operación el proveedor de los aerogeneradores realiza el servicio de estos por diez años con un costo asignado, paralelamente hay gente aprendiendo de parte de la empresa eólica.

Así mismo el principio de la energía es el mismo, lo que cambia es la tecnología utilizada y Guatemala cuenta con mucho profesional en la rama



de la ingeniería que puede desarrollar este tipo de proyectos sin ningún problema.

E2 – Las maquinas son tan sofisticada que se pueden monitorear remotamente, como en Guatemala no hay demanda de profesionales por la cantidad de proyectos operando, las universidades no imparten cursos relacionados al tema, se puede considerar a nivel de la región en dos aspectos, la construcción y el mantenimiento de estos parques.

En la construcción ya hay firmas especializadas dentro de Guatemala que se dedican a la elaboración de caminos, zapatas, fundición, etc. la capacitación se debería de enfocar en el diseño y técnicos en aerogeneradores.

**5. ¿Cuál es ese perfil que se necesita para contratar al supervisor o gerente de planta y a los operarios de la planta?**

E1 – El perfil es simple, debe de tener conocimientos de ingeniería mecánica y de electricidad.

E2 – Los perfiles de los ingenieros se acoplan muy bien para este tipo de puestos, ya que poseen conocimientos de ingeniería mecánica y eléctrica.

**6. Al personal que se necesita capacitar ¿sobre qué temas se capacitan y a dónde se mandan a capacitar?**

E1 – Se proveen capacitaciones por parte del proveedor sobre el uso de la maquinaria o simplemente dan un desglose de cómo está conformado el equipo y su uso, así mismo se buscan cursos en las ferias eólicas.

E2 – Se les capacita en primeros auxilios y en trabajos en altura.

## **ETAPA DE PREINVERSIÓN**

### **7. ¿Cuántas firmas especializadas intervinieron en los estudios realizados de factibilidad y en cuales estudios participaron?**

E1 – No contaba con la información.

E2 – Dentro de los principales estudios realizados están los de viento, el de accesos, el de área (área arqueológica, o protegida), estudios de suelo, estudios de impacto ambiental, se realiza un estudio de Due Diligence o diligencia debida donde cada estudio es realizado por un experto en el área y establecen si el proyecto es viable.

### **8. ¿Los terrenos son arrendados bajo que modalidad?**

E1 – Son arrendamos por el número de años de la vida útil y estos son arrendados bajo la modalidad como si fuera una valla publicitaria.

E2 – Lo mejor es si el propietario del proyecto es dueño del lugar, o que se rente el terreno a un solo dueño. Se arrienda bajo un usufructo por veinte años promedio que va a depender de la vida útil del proyecto.

### **9. ¿Se hace un diagnostico participativo en las comunidades cercanas para establecer grupos de apoyo y grupos en contra del proyecto? ¿Se socializa el proyecto a la comunidad?**

E1- Los parques eólicos tienen una particularidad, que no genera mucho conflicto social ya que no destruye o cambia por completo el lugar donde se va a instalar, incluso lleva consigo una imagen de responsabilidad social y ambiental. Siempre con estos proyectos se debe de tomar en cuenta a la población porque se necesitan grandes cantidades de tierra que son parte de las comunidades cercanas y más en un país que es pluricultural, multiétnico

y multilingüe. La conflictividad va relacionado al nivel educativo y nivel socioeconómico de la población

E2 – Sí se hace, se hace una consulta pública con todas las personas de las comunidades vecinas y sus líderes, ellos ponen sus pros y sus contras que se van evaluando.

**10. En los proyectos que se han desarrollado, ¿cuál ha sido el porcentaje de inversión propia y el porcentaje de endeudamiento que han tenido?**

E1 – La regla de todo proyecto es que entre más me logre endeudar mejor ya que el riesgo recae en el dinero de alguien más, los porcentajes normales andan de 70% apalancado y 30% con capital propio.

E2 – De inversión propia es del 30% para poder llegar a un 70% de financiamiento.

**11. ¿Cuáles son los requisitos mínimos que han solicitado las instituciones de crédito para poder otorgar el préstamo?**

E1 – Principalmente tener un proyecto ya más aterrizado, un estudio de factibilidad donde se le presenten ya al banco los planos, el contrato de llave en mano, el contrato de PPA y que mis modelos financieros bajo mis supuestos sean razonables.

E2 – Uno de los requisitos es que tenga un PPA para asegurar que van a tener los ingresos asegurados por el tiempo establecido en el contrato.

**12. ¿Qué instituciones financieras son las más buscadas para solicitar préstamos?**

E1 – Si son proyectos pequeños de pocos MW instalados se puede buscar un préstamo en el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). Si el proyecto requiere mucho más capital dependiendo del apetito

de riesgo del banco, puede otorgar un préstamo sindicado para diluir el riesgo teniendo como una tasa de piso o tasa mínima la tasa LIBOR (London InterBank Offered) en español tipo interbancario de oferta de Londres para pago de intereses.

E2 – Las instituciones buscadas son los bancos nacionales.

**13. ¿A la hora de evaluar el proyecto en la etapa de preinversión, ¿cuáles son los indicadores decisorios para aceptar, revisar o rechazar el proyecto? Y ¿Cuáles son sus rangos de aceptabilidad?**

E1 – A nivel operativo es que el recurso eólico sea el ideal para el equipo que se desea poner, a nivel financiero la corporación tiene un promedio de tasa de descuento del 9.5% para este tipo de proyectos, el retorno de inversión depende de la capacidad instalada y el tipo de contrato para la venta de energía, generalmente se encuentra entre 10 a 15 años.

E2 – Un indicador puede ser el tiempo de ejecución, ya que al tener el PPA debo cumplir los tiempos establecidos en el contrato para conectarme al sistema interconectado nacional.

**14. ¿Ha influido en los indicadores de rentabilidad (VAN) (TIR) (PAYBACK) la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de Energía Renovable a la hora de aceptar o rechazar el proyecto?**

E1 – Sí ha influido, un ejemplo la exención de diez años de ISR es dinero que se va ahorrando y se destina al pago de intereses bancarios o capital si así lo permite la entidad de crédito. Un país solo con tener exenciones ya puede hacer factible un proyecto dentro de su territorio.

## **ETAPA DE INVERSIÓN**

### **15. ¿Hubo algún contratiempo a la hora de ejecutar el proyecto? ¿Cuáles fueron los más comunes?**

E1 – Hay varios contratiempos pero todos van relacionados a la logística, cumplir con el cronograma de actividades de la ejecución y más si ya se tiene un compromiso con un PPA para no incurrir en aspectos legales, entre los contratiempos más comunes tenemos al transportar el equipo en las plataformas que haya pasado algo en algún punto de la ruta, atraso en la gestión de la exención del ISR por parte de la SAT o la autorización del MEM para poder realizar el proyecto, así también programar los desembolsos del préstamo realizado y juntar el cronograma del contratista con el del proyecto.

E2 – El traslado de los componentes, sacarlos del puerto y llevarlos al sitio de emplazamiento es una de las actividades que más se atrasan y mayormente si hay mal clima, otro aspecto son los permisos y las diferentes licencias que se deben de obtener previó a la construcción y operación del parque.

### **16. ¿Cuántas firmas constructoras participaron en la ejecución del proyecto y en qué actividad participaron?**

E1 – Todo lo que es cableado y colocación de los aerogeneradores y la subestación, es una firma especializada que se dedica a eso, sin embargo, la construcción de caminos, la construcción de la oficina, etc. puedo contratar otro contratista o si tengo la maquinaria y el conocimiento lo puede hacer la misma empresa.

## **ETAPA DE OPERACIÓN**

**17. ¿Cuáles son los impactos que han generado los proyectos que están en operación en la comunidad y cuales han sido esos indicadores que se utilizaron?**

E1 – No contaba con la información.

E2 – A la comunidad siempre le beneficia ya que arreglan las calles, invierten en escuelas y cada semana se contrata personal de las comunidades cercanas para darles trabajos varios, así mismo los expertos que trabajan en las subestaciones dan capacitaciones a personas interesadas para que posean un perfil técnico.

**18. ¿Hay alguna ayuda por parte de los proveedores de los aerogeneradores y si hay algún costo asociado?**

E1 – El proveedor los primeros diez años da el mantenimiento de los aerogeneradores para no perder la garantía de estos, todo esto lleva un costo, así mismo para ellos les es más fácil movilizar repuestos si se necesitan. Durante esos diez años tenemos personal acompañando a los técnicos para que en un punto se decida ya no contratar el servicio.

E2 – No contaba con la información.

## CONCLUSIONES

Dentro de las conclusiones que se determinaron en el proceso de investigación se determinaron las siguiente:

1. El mercado eléctrico nacional y regional ha demostrado que posee una potencial demanda para la venta de energía, siendo el mercado regional la óptima opción para incursionar, ya que dentro del territorio de Guatemala se genera más energía que la que se consume, así también, los países del El Salvador, Honduras y Nicaragua son países que tiene una mayor capacidad instala de fuentes no renovables, por tal razón se encárese el precio de la energía dentro de sus territorios y optan por importar la energía de Guatemala y Costa Rica.
2. La información técnica fundamental para el diseño de la construcción, operación y abandono del parque, demostró que el sitio establecido para el emplazamiento posee recurso eólico capaz de permitir una capacidad instalada de seis aerogeneradores de 3.4 MW y disposición de terrenos aptos para llevar a cabo el proyecto, así mismo las vías de acceso están en condiciones aceptables para el traslado del equipo, y mencionar que el proveedor da la asesoría para determinar el equipo idóneo según las características del sitio.
3. Los aspectos administrativos y el marco legal regulatorio establecieron que Guatemala cuenta con la legislación adecuada para el desarrollo de proyectos de energía renovable, dando incentivos como la exoneración de aranceles por la importación del equipo y la exoneración por diez años del impuesto de ISR, así mismo para este tipo de proyectos el personal contratado es mínimo.

4. El análisis de impacto ambiental del proyecto dio como resultado un impacto adverso en la etapa de inversión y abandono, esto por la gran cantidad de tierra y vegetación que se debe mover, sin embargo, hay un impacto positivo en la etapa de operación que es de veinte años, sin contar con los planes de mitigación, contingencias y de responsabilidad social que se pondrán en marcha, compensando de gran manera con un efecto positivo al medio ambiente creando externalidades positivas hacia la sociedad.
5. La evaluación financiera muestra que el proyecto parque eólico utilizando una tasa de descuento del 8.41% a lo largo de la vida útil, es rentable, generando una TIR del 14.50% significando que el proyecto genera un 6.09% de excedente. Así mismo la inversión inicial se estaría recuperando al comienzo del doceavo año. Al realizar el análisis de sensibilidad se determinó que los ingresos son más sensibles que los gastos pudiendo afectar en una mayor magnitud la reducción o aumento de estos.



## RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que se determinaron en el proceso de investigación se determinaron las siguiente:

1. Dentro del territorio de Guatemala ya existen proyectos de parques eólicos unos ya funcionando y otros en papeles, los cuales fueron pioneros para el desarrollo de este tipo de proyectos en el país, sin embargo, para llegar a ese resultado final hubieron muchas personas detrás creando un precedente para futuras inversiones, se recomienda a los inversionistas que deseen generar un impacto positivo al medio ambiente y a la humanidad, invertir en proyectos renovables guiados por el historial que se ha venido construyendo en Guatemala.
2. Se recomienda al inversionista aprovechar el mercado eléctrico regional ya que los precios de la energía en los países de El Salvador, Nicaragua y Honduras son mucho mayores al mercado nacional en un 50%, por tal razón se puede generar una mayor ganancia por kilovatio generado.
3. Se recomienda al Gobierno de Guatemala invertir en estudios de capacidad eólica en puntos estratégicos del territorio nacional para incentivar a los inversionistas ya que este tipo de estudios dura de cinco a ocho años y así acelerar la transición energética del país.
4. Se recomienda al Gobierno de Guatemala disminuir la aprobación de proyectos que generan conflictos sociales, esto por la mala imagen que le genera al país a nivel internacional y empezar a promover la inversión de proyectos limpios con conciencia social y ambiental.
5. Se recomienda a futuros investigadores o inversionistas tratar el tema de parque eólico Offshore conocidos también como parque eólico en el mar, esto por el motivo que el impacto adverso al medio ambiente se reduce al mínimo

y se maximizan los beneficios, así también la capacidad de generación de cada aerogenerador puede llegar a los 11MWh porque dichos proyectos permiten instalar aerogeneradores más grandes y de mayor capacidad, sin contar también que la capacidad eólica en el mar del pacifico es mejor.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) ACTIS. (07 de 10 de 2020). *Our portafolio, ENERGUATE*. Obtenido de act.is: <https://www.act.is/about-actis/our-portfolio/energuate/>
- 2) Administrador de Mercado Mayorista. (25 de 06 de 2020). *Resultados de operación*. Obtenido de amm.org.gt: [https://www.amm.org.gt/portal/?page\\_id=145](https://www.amm.org.gt/portal/?page_id=145)
- 3) Aguirre, L. (2016). *Proyectos: Formulación y Valuación*. Perú: Editorial MACRO.
- 4) Alvarado García, R. (2008). *Principios de termodinámica*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- 5) American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association (6 ed.)*. México, D.F.: Editorial El Manual Moderno.
- 6) Arboleda Vélez, G. (2001). *Proyectos, formulación evaluación y control*. Cali, Colombia: Cargraphics S.A.
- 7) Arboledas, D. (2014). *Electricidad Básica*. España: RA-MA, S.A.
- 8) Asociación Empresarial Eólica. (05 de 12 de 2019). *La eólica es la energía con mayor potencial para combatir el cambio climático y cumplir con los objetivos PNIEC*. Recuperado el 21 de 05 de 2020, de aeeolica.org: <https://www.aeeolica.org/comunicacion/notas-de-prensa/3963-la-eolica-es-la-energia-con-mayor-potencial-para-combatir-el-cambio-climatico-y-cumplir-con-los-objetivos-pniec>
- 9) Asociación Eólica de Catalunya. (21 de 05 de 2020). *PREGUNTAS FRECUENTES*. Obtenido de eoliccat.net: <http://eoliccat.net/preguntas-frecuentes/?lang=es>
- 10) Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de proyectos (7ma Ed.)*. México: MC Graw Hill.
- 11) Banco de Guatemala. (25 de 09 de 2020). *Tipo de Cambio*. Obtenido de banguat.gob.gt: <https://www.banguat.gob.gt/cambio/default.asp>
- 12) Banco Mundial. (07 de 10 de 2020). *Doing Business 2020*. Obtenido de Banco Mundial:

<https://espanol.doingbusiness.org/content/dam/doingBusiness/country/g/guatemala/GTM-LITE.pdf>

- 13) Biomass Users Network (BUN-CA). (2002). *Manuales sobre energía renovable: Eólica*. San José, Costa Rica: SE.
- 14) Brundtland, G. (1987). *Informe Comisión Brundtland (Nuestro futuro Común)*. Noruega: Oxford University Press.
- 15) Canga Cabañes, J. (11 de 04 de 2016). *La huella de carbono de las energías renovables. 2- Eólica*. Recuperado el 21 de 05 de 2020, de comunidadism.es: <http://www.comunidadism.es/blogs/la-huella-de-carbono-de-las-energias-renovables-2-eolica>
- 16) Comisión nacional para América Latina y el Caribe. (2019). *Evaluación de escenarios para la formulación de la estrategia energética sustentable SICA 2030*. México: CEPAL.
- 17) Córdoba Padilla, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Colombia: Cargraphics S.A.
- 18) Creus Solé, A. (2008). *Energías renovables*. España: Cano Pina, S.L.
- 19) Delgadillo Prado, S. (2014). *Termodinámica Básica*. México, D.F.: Editorial Éxodo.
- 20) Dirección General de Energía. (2018). *Proyecto de Medición Eólica en Guatemala*. Guatemala: Dirección General de Energía.
- 21) Domínguez Gómez, J. (2008). *Energías alternativas*. España: Publidisa.
- 22) El Congreso de la República de Guatemala. (1986). *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. Dto. No. 68-86*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- 23) El Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Ley General de Electricidad, decreto No. 93-96*. Guatemala: Guatemala.
- 24) El presidente de la República de Guatemala. (1998). *Reglamento del administrador del mercado Mayorista Acuerdo gubernativo No. 299-98*. Guatemala: Organismo ejecutivo.
- 25) El Presidente de la República de Guatemala. (2005). *Acuerdo Gubernativo No.211-2005, Reglamento de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.

- 26) ENERGUATE. (31 de 01 de 2018). *Impacto de la conflictividad social en las operaciones de ENERGUATE*. Obtenido de ENERGUATE:  
file:///C:/Users/User/Downloads/ENERGUATE,%20conflictividad,%20enero%202018.pdf
- 27) Eólico San Antonio El sitio. (06 de abril de 2019). *Eólico San Antonio El sitio*. Obtenido de Etapas del proyecto: <http://esagt.com/parque.php>
- 28) Escudero, J. (2004). *Manual de Energía Eólica*. España: Mundi-Prensa.
- 29) Escuela Superior Tepeji del Río. (25 de 03 de 2019). *Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo*. Obtenido de [www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx):  
[https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/tepeji/administracion/documentos/tema/Proyectos\\_de\\_Inversion.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tepeji/administracion/documentos/tema/Proyectos_de_Inversion.pdf)
- 30) Fernández, N. (2008). *Estudio de Prefactibilidad de un parque Eólico en Guatemala, Caso Huite Zacapa*. Guatemala: USAC.
- 31) Flores Cruz, R. (02 de 10 de 2018). *La energía eólica no es tan limpia como la pintan*. Recuperado el 21 de 05 de 2020, de Nomada:  
<https://nomada.gt/nosotras/volcanica/la-energia-eolica-no-es-tan-limpia-como-la-pintan/>
- 32) Foro Económico Mundial. (07 de 10 de 2019). *Índice de competitividad*. Obtenido de The Global Competitiveness Report 2019:  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf)
- 33) Galdiano Hernández, M. (2016). *Aprovechamiento de Energía Renovable*. España: ICB, S.L.
- 34) Galindo Ruiz, C. (2011). *Formulación y evaluación de planes de Negocio*. Colombia: Galindo Ruiz.
- 35) GlobeCore GmbH. (05 de Julio de 2020). *Wind Turbine Gear Oil Changer*. Obtenido de <https://globecore.com>: <https://globecore.com/turbine-gear-oil-changer/>
- 36) Gómez, N. (2016). *Mercado de oportunidad de la energía en Guatemala : Un modelo Teórico*. Guatemala: Revista Académica ECO.
- 37) González Velasco, J. (2012). *Energías renovables*. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- 38) Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y ambiente. (2013). *Manual para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de caminos*

*rurales con enfoque de gestión y adaptación a la variabilidad y al cambio climático.* Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

- 39) Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Censo poblacional y vivienda.* Guatemala: INE.
- 40) Jarauta, L. (2015). *Las energías renovables.* Barcelona, España: Editorial UOC.
- 41) Jaume, B. (2009). *Guía Práctica 1: Cómo iniciar una Evaluación: Oportunidad, viabilidad y preguntas de evaluación.* España: Cevagraf.
- 42) León Cifuentes, R. (2013). *Guía de desarrollo de pequeños y medianos proyectos de Energía Eólica.* Santiago de Chile: Centro de Energías Renovables (CER).
- 43) Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2000). *Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, escala 1:250,000.* Guatemala: MAGA.
- 44) Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Listado Taxativo de proyectos, obras, industrias y actividades (Acuerdo Ministerial No. 199-2016).* Guatemala: MARN.
- 45) Ministerio de comunicaciones infraestructura y vivienda. (2002). *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Caminos Rurales en Guatemala Ambientalmente Compatibles.* Guatemala: CIV.
- 46) Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Requisitos para inscribirse como Agente Generador.* Guatemala: MEM.
- 47) Ministerios de Energía y Minas. (2017). *Planes Indicativos de generación y transmisión.* Guatemala: Ministerio de Energía y Minas.
- 48) Municipalidad de Villa Canales. (10 de 06 de 2020). *Municipio de Villa Canales.* Obtenido de [mvc.gob.gt](http://mvc.gob.gt): <http://mvc.gob.gt/municipio-de-villa-canales/>
- 49) Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático.* Kioto: Naciones Unidas.
- 50) Naciones Unidas. (2012). *El futuro que queremos.* Rio de Janeiro: ONU.
- 51) ONU. (1992). *Agenda 21 - Cumbre de la tierra.* Rio de Janeiro: Organización de las Naciones Unidas.
- 52) ONU. (2015). *Aprobación del Acuerdo de París.* Paris: ONU.

- 53) Palma, J. (2017). *Análisis de la aplicación de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable a proyectos de pequeña escala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- 54) Peña, A., & Dreyfus, G. (1997). *La energía y la Vida - Bioenergética*. México: Fondo de Cultura Económica.
- 55) Perez, D. (2012). *Electricidad*. España: ICB, S.L.
- 56) Polanco Perdomo, P. (2012). *Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 57) Prensa Libre. (01 de 01 de 2016). <https://www.prensalibre.com/>. Obtenido de IC Power compra a Deocsa y Deorsa:  
<https://www.prensalibre.com/economia/energuate-cambiaria-de-dueo-firma-estadounidense-acuerda-compra/>
- 58) Puentes Montañez, G., Prieto Puentes, D., & González, L. (2019). *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*. Bogotá, Colombia : Eco ediciones.
- 59) Requena Peláez, J. (2012). *Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica*. España: ICB.
- 60) Rodríguez Aranday, F. (2018). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión, una propuesta metodológica*. México: Instituto mexicano de Contadores Públicos, A.C.
- 61) Rodríguez, C., García, B., & Cárdenas, L. (2008). *Formulación y valuación de Proyectos*. México D.F.. España: Limusa.
- 62) Rosen, A. (15 de 02 de 2015). *The Wrong Solution at the Right Time: The Failure of the Kyoto Protocol on Climate Change*.  
doi:<https://doi.org/10.1111/polp.12105>
- 63) Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- 64) Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag Puelma, J. (2008). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. México: McGRAW-HILL.
- 65) Sciencing. (25 de 07 de 2020). *How Much Land Is Needed for Wind Turbines?* Obtenido de <https://sciencing.com>: <https://sciencing.com/places-wind-turbines-produce-electricity-5159049.html>
- 66) SECMCA. (07 de 10 de 2020). *Informe Riesgo País, Trimestre I 2020*. Obtenido de Secretaría Ejecutiva del Consejo Monetario Centroamericano:

[http://www.secmca.org/wp-content/uploads/2020/03/informe\\_riesgo\\_mar20.pdf](http://www.secmca.org/wp-content/uploads/2020/03/informe_riesgo_mar20.pdf)

- 67) SEGEPLAN. (2013). *II. Manual de Formulación y Evaluación de proyectos*. Guatemala: SNIP.
- 68) Selgas, V. (2006). *Análisis Matemático y numérico de las ecuaciones de Maxwell Cuasiestáticas*. España: Universidad de Oviedo.
- 69) Sigüeme la Corriente. (02 de abril de 2020). *¿Cómo funcionan los aerogeneradores? Tipos, Componentes y Características*. (R. Lijó, Ed.) Recuperado el 15 de Julio de 2020, de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=MWuIVVYwRk8&t=75s>
- 70) Talayero, A., & Telmo, E. (2011). *Energías Renovables (Energía eólica, 2da Edición)*. España: Prensa de la Universidad de Zaragoza.
- 71) the wind power;. (22 de 06 de 2020). *Parques eólicos*. Obtenido de thewindpower.net: [https://www.thewindpower.net/windfarms\\_list\\_es.php](https://www.thewindpower.net/windfarms_list_es.php)
- 72) Turbinesinfo. (25 de 07 de 2020). *Size of Wind Turbines*. Obtenido de [www.turbinesinfo.com](http://www.turbinesinfo.com): <https://www.turbinesinfo.com/size-of-wind-turbines/>
- 73) Unión Española Fotovoltaica. (2018). *Los Acuerdos de Comprventa de Energía (Power Purchase Agreemnet - PPA)*. España: UNEF.
- 74) Universidad de San Carlos de Guatemala. (2018). *Instructivo para elaborar el trabajo profesional de graduación para optar al grado académico de maestro en artes*. Guatemala: Escuela de estudios de postgrado, Ciencias económicas.
- 75) Universidad de Sevilla. (2011). *Elección del Modelo de Aerogenerador*. España: US.
- 76) Valencia Sáiz, Á. (2014). *Política y Medio Ambiente*. México: Editorial Porrúa.
- 77) Vega de Kuyper, J. C., & Ramírez Morales, S. (2014). *Fuentes de energía Renovable y no renovable*. México: Alfaomega.
- 78) Vega, S., & Vega, J. (2014). *Electromagnetismo*. México: Patria.
- 79) whather Spark. (15 de 08 de 2020). *El Clima promedio de Villa Canales Guatemala*. Obtenido de whather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/11623/Clima-promedio-en-Villa-Canales-Guatemala-durante-todo-el->



a%C3%B1o#:~:text=En%20Villa%20Canales%2C%20la%20temporada,m%C3%A1s%20de%2030%20%C2%B0C.

- 80) Word Bank Group. (11 de 07 de 2020). *Global Wind Atlas*. Obtenido de Guatemala, Guatemala:  
<https://globalwindatlas.info/area/Guatemala/Guatemala>

## ANEXOS

### Anexo 1: Cuestionario utilizado para la entrevista



#### CUESTIONARIO

##### PREGUNTAS GENERALES

1. ¿Cuál es la situación actual en la región y como se ve a 10 años?
2. ¿Qué características debe de tener el país de Guatemala para desarrollar de una forma óptima la energía eólica?
3. ¿Cómo ha visto el papel que juega AGER (asociación de generadores de Energía Renovable) en Guatemala?

Actualmente hay universidades que imparten post grados orientados a Energías renovables, sin embargo, no específicamente energía eólica.

4. ¿Se han presentado inconvenientes en el desarrollo de proyectos por el factor de mano de obra calificada?
5. ¿Cuál es ese perfil que se necesita para contratar al supervisor o gerente de planta y a los operarios de la planta?
6. Al personal que se necesita capacitar ¿sobre qué temas se capacitan y a dónde se mandan a capacitar?

##### ETAPA DE PREINVERSIÓN

7. ¿Qué estudios son necesarios en la etapa de preinversión para poder ejecutar el proyecto?
8. ¿Por cuánto tiempo mínimo se hace el estudio de caudal de viento?
9. ¿Cuántas firmas especializadas intervinieron en los estudios realizados de factibilidad y en cuales estudios participaron?
10. ¿Los terrenos son arrendados bajo que modalidad?
11. ¿se hace un diagnostico participativo en las comunidades cercanas para establecer grupos de apoyo y grupos en contra del proyecto? ¿Se socializa el proyecto a la comunidad?
12. ¿Qué papel juegan los gobiernos locales para el desarrollo de este tipo de proyectos?
13. ¿En cifras redondas cuanto ha sido la inversión total para poner en operaciones un parque eólico según la capacidad instalada?
14. ¿En los proyectos que se han desarrollado cual ha sido el porcentaje de inversión propia y el porcentaje de endeudamiento que han tenido?
15. ¿si hubo solicitud de préstamo, cuales han sido los requisitos mínimos que han solicitado las instituciones de crédito para poder otorgar el préstamo?

16. ¿en qué instituciones financieras son las más buscadas para solicitar préstamos?
17. ¿En su conocimiento cual es la maquinaria indispensable para la operación de un parque eólico?
18. ¿A la hora de evaluar el proyecto en la etapa de preinversión, ¿cuáles son los indicadores decisivos para aceptar, revisar o rechazar el proyecto? Y ¿Cuáles son sus rangos de aceptabilidad?
19. ¿De la inversión inicial que porcentaje se destina para Activos Fijos, Activos diferidos y capital de trabajo?
20. ¿En qué año se espera el retorno de la inversión? 3.8
21. ¿ha influido en los indicadores de rentabilidad (VAN) (TIR) (PAYBACK) la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de Energía Renovable a la hora de aceptar o rechazar el proyecto?

#### **ETAPA DE INVERSIÓN**

22. ¿Hubo algún contratiempo a la hora de ejecutar el proyecto? Si ¿Cuáles fueron los más comunes?
23. ¿Cuántas firmas constructoras participaron en la ejecución del proyecto y en qué actividad participaron?
24. ¿Cómo se realiza la Programación de pagos?

#### **ETAPA DE OPERACIÓN**

25. ¿Me puede indicar el proceso de operación de un parque eólico desde la generación de energía hasta el momento en que se entrega la energía a la distribuidora (EGGSA ó ENERGUATE)?
26. ¿Hay algún trámite adicional con las empresas que hacen el transmisión o transporte de energía "TRELEC/TRECSA" y el AMM? Y Si hay algún costo asociado a la misma.
27. ¿Puede indicarme cual es el proceso del mantenimiento preventivo y diagnóstico de las instalaciones?
28. ¿Cuáles son los gastos en que se incurre en la operación de un parque eólico?
29. ¿Cuáles son los impactos que han generado los proyectos que están en operación en la comunidad y cuales han sido esos indicadores que se utilizaron?
30. ¿Hay alguna ayuda por parte de los proveedores de los aerogeneradores y si hay algún costo asociado?
31. ¿con base a su experiencia en este campo tiene algún comentario adicional que realizar?
32. ¿Cuáles son sus ventajas y desventajas?

Anexo 2: Matriz de Leopold – Proyecto eólico Villa Canales

MATRIZ DE LEOPOLD - PROYECTO PARQUE EÓLICO VILLA CANALES																
Acciones		Magnitud: 1-10		FASES DEL PROYECTO												
		Importancia: 1-10		Construcción					Operación			Cancelación				
Valoración	Magnitud (10=Grande, 5=Mediano, 1=Pequeña) Importancia 1=Nada, 10=Alta Signos en Magnitud: + Efecto Positivo - Efecto Negativo	Elaboración y fundición Zapata para Base de Molino	Elaboración de Zanjas que conecten con la subestación	Preparación del área de la unión, componentes del Molino de Viento y subestación	Elaboración de Caminos Interinos	Limpieza de Vegetación cercana a la instalación	Ensamble de los molinos de viento	Construcción de subestación	TOTAL FASE	Movimiento de las aspas	Mantenimiento de aerogeneradores y componentes	TOTAL FASE	Desunión de las piezas del molino de viento	Demolición de las Bases	TOTAL FASE	
		ABIÓTICO	Tierra	Recursos minerales	-5	-5	-5	-5	-2	0	0	-69	0	0	0	0
Material de Construcción	-3			-1	-1	-5	0	0	-5	-61	0	0	0	0	-10	-40
Suelos	-3			-1	-1	-5	1	0	-2	-39	0	0	0	0	-3	-12
Geomorfología	-3			-2	-2	-5	2	1	0	-51	0	0	0	0	-1	-1
Campos magnéticos y radioactividad de fondo	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agua	Factores físicos singulares		-1	-1	0	-3	0	0	0	-11	0	0	0	0	0	0
	Continetales		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Marinas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Subterráneas		-1	0	0	0	0	0	0	-2	0	-3	-3	0	0	0
	Calidad		-1	0	0	0	0	0	0	-2	0	-3	-3	0	0	0
	Temperatura		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Recarga		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nieve, hielo y heladas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MEDIO	Atmósfera	Calidad (gases, partículas)	-5	0	0	-5	-1	0	0	-26	10	0	0	-5	-25
		Clima (micro, macro)	0	0	0	0	-1	0	0	-1	5	0	25	0	0
		Temperatura	-1	0	0	-1	-1	0	0	-3	1	0	2	0	0
	Procesos	Inundación	-1	0	0	-1	0	0	0	-2	0	0	0	0	0
		Erosión	-3	-1	-1	-4	-5	0	-1	-26	0	0	0	0	0
		Deposición (sedimentación y precipitación)	-2	1	1	3	1	0	1	-7	0	0	0	0	-3
		Solución	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		Sorción (Intercambio de iones, complejos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Compactación y asientos	-1	0	0	-1	-4	0	0	-10	0	0	0	0	0
		Estabilidad	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
BIÓTICO	Flora	Sismología (terremotos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Movimientos de aire	0	0	0	0	0	0	2	-4	3	0	-9	0	0
		Árboles	-4	-4	-4	-4	-1	0	0	-38	0	0	0	0	0
		Arbustos	-4	-4	-4	-4	-4	0	0	-48	0	0	0	0	0
Hierbas		-3	1	1	6	-1	0	0	-52	0	0	0	0	0	
Cosechas		-4	-4	-4	-4	-4	0	0	-78	0	0	0	0	0	
Microflora		-5	-5	-5	-5	-1	0	0	-48	0	0	0	0	0	
Plantas acuáticas		3	3	3	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Especies en peligro		-5	-5	-5	-5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Barreras, obstáculos		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Corredores	0	0	0	-3	0	0	0	-9	0	0	0	0	0		





## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Incrementos del uso de energía asociados a aumentos de la población ..	4
Tabla 2. Factores de conversión de diferentes unidades energéticas.....	28
Tabla 3. Longitud de líneas de transmisión por nivel de tensión y propietario .....	38
Tabla 4. Clasificación de los aerogeneradores según el tipo de viento .....	48
Tabla 5. Costos de un aerogenerador por potencia .....	59
Tabla 6. Matriz del Marco Lógico .....	65
Tabla 7. Precios de Oportunidad de la Energía por País de origen US\$/MGW ....	79
Tabla 8. Precio Spot (\$) promedio de Guatemala .....	81
Tabla 9. Personal Necesario para el mantenimiento de los aerogeneradores ....	116
Tabla 10. Resumen de la Matriz de Leopold, Parque Eólico Villa Canales .....	128
Tabla 11. Costos de Mitigación .....	135
Tabla 12. Costo de la etapa de preinversión .....	139
Tabla 13. Flujo del préstamo bancario en US\$ .....	140
Tabla 14. Costos etapa de Inversión en US\$ .....	141
Tabla 15. Costos de Mano de Obra y Gastos indirectos del primer año en US\$	142
Tabla 16. Costos de la etapa de abandono.....	143
Tabla 17. Ingresos en la etapa de abandono .....	144

	180
Tabla 18. Caracterización de ingreso Anual.....	144
Tabla 19. Índices económicos de Guatemala.....	148
Tabla 20. Costo de Capital Promedio Ponderado .....	149
Tabla 21. Tasa Interna de Retorno.....	150
Tabla 22. Relación Beneficio Costo .....	151
Tabla 23. Periodo de Recuperación .....	152
Tabla 24. índice de rentabilidad en US\$.....	153
Tabla 25. Análisis de Sensibilidad Proyecto Parque Eólico.....	153



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Costos de los estudios del proyecto .....	54
Gráfica 2. Costos de la fase de desarrollo.....	55
Gráfica 3. Costos de la obra civil.....	57
Gráfica 4. Costos de la obra eléctrica.....	58
Gráfica 5. Costos de la fase de construcción .....	59
Gráfica 6. Porcentaje de costos de un proyecto de parque eólico. ....	60
Gráfica 7. Oferta Nacional Efectiva al sistema y Oferta de placa en (MW) .....	70
Gráfica 8. Comparativo de la Oferta Nacional efectiva por Tecnología MW.....	71
Gráfica 9. Comparativo de la Oferta Nacional de placa por Tecnología.....	72
Gráfica 10. Capacidad Instalada por Fuente de energía del Mercado de Energía Regional - MER (MW) - 2019 .....	73
Gráfica 11. Capacidad Instalada por cada país de la Región (MW).....	73
Gráfica 12. Patrón de la demanda anual de energía despachada por AMM en cinco años [GWH].....	74
Gráfica 13. Despacho de Electricidad del 2015 al 2019 al SNI (MW) Mensual .....	75
Gráfica 14. Generación Nacional Vrs Consumo Nacional e intercambio Neto .....	76
Gráfica 15. Exportación e importación de energía en Guatemala (GWh).....	77
Gráfica 16. Porcentaje de Importación de Energía en el MER .....	78
Gráfica 17. Precio spot del MER diciembre 2019.....	80

Gráfica 18. Precio spot de Guatemala US\$/MWh del 2015 al 2019.....	82
Gráfica 19. Precio spot de Guatemala US\$/MWh por año. ....	83
Gráfica 20. Precio spot promedio mensual de Guatemala US\$/MWh del 2015 al 2019. ....	84
Gráfica 21. Porcentaje de Energía generada por tipo de compraventa.....	86
Gráfica 22. Velocidades de viento, promedio mensual en m/s, con factor de corrección a 90 mt de altura. Villa Canales, Guatemala.....	92
Gráfica 23. Frecuencia de la distribución de velocidades.....	93
Gráfica 24. Dirección del Viento a 30 mt de altura. ....	94
Gráfica 25. Clima de Villa Canales durante un año .....	124
Gráfica 26. Velocidad del Viento promedio mensual en Villa Canales, Guatemala a 10 mt de altura. ....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura General de la Evaluación de proyectos.....	22
Figura 2. Diferencia entre evaluación Económica y Social.....	25
Figura 3. Ventajas y desventajas de la energía eólica .....	32
Figura 4. Ilustración del concepto de corriente alterna .....	35
Figura 5. A) Corriente constante en tensión y B) Corriente variable (pulsante) en tensión, pero constante en polaridad. ....	36
Figura 6. Distribución de la red de transmisión .....	39
Figura 7. Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC).....	40
Figura 8. Aerogenerador tipo 3: De velocidad variable con conversión parcial.....	46
Figura 9. Aerogenerador tipo 4: De velocidad variable con conversión total.....	47
Figura 10. Wind power curve de aerogenerador Vestas .....	47
Figura 11. Ejemplo de diseño de parque eólico. Dirección principal de viento Sur. .....	50
Figura 12. Zona de Emplazamiento (Perfil de elevación paralelo en dirección del viento).....	88
Figura 13. Zona de Emplazamiento (Perfil de elevación transversal a la dirección del viento).....	89
Figura 14. Mapa de Altitud del municipio de Villa Canales Guatemala .....	90
Figura 15. Mapa eólico del municipio de Villa Canales, Guatemala.....	91

Figura 16. Ruta 1 de transporte de la maquinaria .....	97
Figura 17. Ruta 2 de transporte de la maquinaria .....	98
Figura 18. Componentes de un Aerogenerador .....	102
Figura 19. Mapa del emplazamiento del Parque Eólico en Villa Canales .....	104
Figura 20. Plano de Cimentación y estructura metálica de la base.....	105
Figura 21. Sección transversal de Terreno plano en tangente para caminos rurales. .....	107
Figura 22. Organigrama para el proyecto del parque eólico.....	115
Figura 23. Listado Taxativo de proyectos, obras, industrias y actividades de Guatemala.....	131