



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“PROYECCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO Y
MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL
PROYECTO EÓLICO SAN VICENTE DE TIPÍN”**

GUAIRACAJA USCA BERTHA ALICIA

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-07-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

GUAIRACAJA USCA BERTHA ALICIA

Titulada:

“PROYECCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL PARQUE EÓLICO SAN VICENTE DE TIPÍN”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Rodolfo Santillán H.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Telmo Moreno R.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GUAIRACAJA USCA BERTHA ALICIA

TÍTULO DE LA TESIS: “PROYECCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL PROYECTO EÓLICO SAN VICENTE DE TIPÍN”

Fecha de Examinación: 2013-10-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Rodolfo Santillán H. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Telmo Moreno R. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual e industrial le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Bertha Alicia Guairacaja Usca

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres: Juan y Rosa por todo el apoyo y paciencia que me han brindado para cumplir con mis metas, por ser la base fundamental de mi vida, a mi hermana, familiares y amigos.

Bertha Guairacaja Usca

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Bertha Guairacaja Usca

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	3
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	3
1.2.2 <i>Justificación ambiental</i>	4
1.2.3 <i>Justificación social y económica</i>	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Proyecto eólico San Vicente de Tipín	7
2.2 Generalidades sobre fuentes alternas de energía	7
2.2.1 <i>Energía renovable</i>	7
2.2.2 <i>Energías alternativas</i>	7
2.2.2.1 <i>Energía hidráulica</i>	8
2.3 Energía eólica	8
2.4 Aerogeneración	9
2.5 Dimensionamiento del sistema conversor de energía eólica en energía eléctrica (SCEE) ..	11
2.5.1 <i>Potencial eólico del lugar</i>	11
2.5.1.1 <i>Prospección eólica preliminar</i>	13
2.5.1.2 <i>Escala de Beaufort</i>	15
2.5.1.3 <i>Sitios de interés eólico</i>	15
2.5.1.4 <i>Equipos de medición de potencial eólico</i>	18
2.5.1.5 <i>Recolección de datos de viento</i>	22
2.5.1.6 <i>Curvas de viento</i>	23
2.5.1.7 <i>Determinación del potencial eólico</i>	26
2.5.1.8 <i>Mapa eólico de la zona potencial</i>	26
2.5.2 <i>Demanda energética</i>	26
2.5.2.1 <i>Energía disponible</i>	27
2.6 Selección de equipos	28
2.6.1 <i>Proyección de sistemas eólicos</i>	28
2.6.2 <i>Variables de la demanda energética</i>	29
2.6.2.1 <i>Potencia eléctrica requerida</i>	29
2.6.3 <i>Partes constitutivas del SCEE</i>	33
2.7 <i>Condiciones técnicas de fundamento del parque eólico</i>	34
2.8 <i>Análisis del impacto ambiental del proyecto eólico "San Vicente de Tipín"</i>	35
3. ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO Y DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	
3.1 Etapas del proyecto	36
3.1.1 <i>Factibilidad técnica del proyecto</i>	38
3.1.2 <i>Transportación, transmisión y distribución de energía</i>	41
3.1.2.1 <i>Definición de un sistema de sub-transmisión</i>	41
3.2 Impactos ambientales	46
3.2.1 <i>Flora</i>	46
3.2.2 <i>Fauna</i>	46
3.2.3 <i>Vegetación</i>	47

3.2.4	<i>Atmosfera</i>	47
3.2.5	<i>Suelo</i>	47
3.2.6	<i>Agua</i>	47
3.2.7	<i>Recursos culturales</i>	47

4. DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL

4.1	Formulación de los principales métodos de evaluación de los impactos ambientales..	48
4.1.1	<i>Definición de evaluación de impacto ambiental</i>	48
4.2	Análisis de los métodos de evaluación de los impactos ambientales	48
4.2.1	<i>Método cartográfico</i>	49
4.2.2	<i>Listas de chequeo, control o verificación</i>	49
4.2.3	<i>Métodos matriciales</i>	50
4.2.4	<i>Método de Batelle</i>	51
4.2.5	<i>Matriz de Lázaro Lagos</i>	52
4.3	Selección del método más efectivo	52
4.3.1	<i>Impactos y riesgos ambientales</i>	52
4.4	Aplicación método de evaluación de impacto ambiental en el proyecto eólico “San Vicente de Tipín”	54
4.4.1	<i>Valoración cualitativa del impacto ambiental</i>	54
4.4.2	<i>Efectos del proyecto sobre el medio</i>	54
4.5	Diseño de matrices de determinación de impactos ambientales	55
4.5.1	<i>Matriz de impactos</i>	55
4.5.1.1	<i>Identificación de las actividades que pueden causar impactos</i>	55
4.5.1.2	<i>Identificación de factores ambientales del entorno susceptibles a recibir impactos..</i>	56
4.5.1.3	<i>Construcción de la matriz</i>	57
4.5.2	<i>Elaboración del estudio de impacto ambiental</i>	57
4.6	Resultados del diseño matrices de mitigación de impactos ambientales	62
4.7	Medidas de mitigación	62

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1	Costos directos	64
5.1.1	<i>Evolución de los costos de energía eólica</i>	65
5.1.2	<i>Costos actuales de generación eólica</i>	65
5.1.3	<i>Estudios de costo de generación eólica en el Ecuador</i>	66
5.2	Costos indirectos	67
5.3	Costos totales	68
5.4	Rentabilidad	68
5.4.1	<i>Análisis de fiabilidad</i>	69
5.4.2	<i>Recuperación de la inversión</i>	69
5.4.3	<i>Flujo neto efectivo</i>	70

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	73
6.2	Recomendaciones	74

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Aprovechamiento del potencial eólico en función de la velocidad del viento ...	17
2 Características técnicas del Minithermo-Anemometer EXTECH 45118	22
3 Lugares de interés eólico	28
4 Datos para determinar la potencia requerida de San Vicente de Tipín	29
5 Tipo de central vs costo de Electricidad	39
6 Costos ambientales en función de tipo de generación	40
7 Emisiones CO ₂ en tipos de generación (gr. CO ₂ /KW-h)	41
8 Subestaciones de distribución de la EERSA	45
9 Flora del lugar	46
10 Fauna del lugar	47
11 Tipos de lista de chequeo de acuerdo a su nivel de desarrollo	49
12 Matriz de evaluación de impactos en la zona de influencia San Vicente de Tipín	59
13 Matriz de cuantificación del proyecto eólico San Vicente de Tipín	61
14 Costos de las diferentes fuentes de energía	65
15 Porcentaje costos proyecto eólico San Vicente de Tipín	66
16 Costos directos proyecto eólico San Vicente de Tipín	67
17 Costos indirectos proyecto eólico San Vicente de Tipín	67
18 Costos totales proyecto eólico San Vicente de Tipín	68
19 Flujo neto efectivo	70
20 Tabla de ingresos	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Sistema Nacional Interconectado	14
2 Potencial eólico	18
3 Anemómetro de cazoletas	19
4 Anemómetro de hélice	19
5 Tipos de anemómetros	21
6 Curva de frecuencia de velocidades	24
7 Curva de duración de velocidades	24
8 Curva de duración de potencia	26
9 Partes constitutivas del SCEE	33
10 Flujograma de actividades	37
11 Líneas de transmisión eléctrica	43
12 Línea interconectada 69 KV	44
13 Tiempo de recuperación	71

SIMBOLOGÍA

ρ	Densidad	Kg/m^3
V	Velocidad	m/s
v	Volumen	m^3
P	Densidad de potencia	KW-h/m^2
E	Energía de la densidad de potencia	$\text{KW-h/mes}*\text{m}^2$

LISTA DE ABREVIACIONES

EERSA	Empresa Eléctrica Riobamba Sociedad Anónima
EIA	Environmental Impact Assessment
NEPA	National Environmental Policy Act
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
SCEE	Sistema Conversor de Energía Eólica
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

LISTA DE ANEXOS

- A** Escala de Beaufort
- B** Mapa eólico Ecuador 2013
- C** Velocidades de viento en San Vicente de Tipín (Guamote)
- D** Repower systems MM82

RESUMEN

La energía eólica conforme al paso del tiempo se ha desarrollado significativamente, prueba de esto es la implementación de parques eólicos en diferentes partes de nuestro país y del mundo.

El presente trabajo está enfocado en determinar, analizar y cuantificar los potenciales impactos ambientales generados en la instalación y posterior operación del parque eólico SAN VICENTE DE TIPÍN. En primer lugar se realizó un breve estudio de prospección eólica en la comunidad de San Vicente de Tipín (Guamote), determinando la disponibilidad y demanda del recurso energético, con estos se seleccionó el sistema conversor de energía eólica a energía eléctrica que estará compuesto por un aerogenerador MM82 de la marca REPOWER SYSTEM que genera 2.05 MW.

Para realizar la evaluación del impacto ambiental se utilizó el método matricial, desarrollando la matriz de Lázaro Lagos, para lo cual se identificaron los siguientes elementos ambientales y las diferentes actividades que se realizaran en las etapas de construcción y operación del parque eólico.

La matriz de Lázaro Lagos nos permitió determinar cuantitativamente y cualitativamente el grado de afectación, encontrando 525 impactos positivos y 182 negativos, al ser mayor los impactos positivos se considera factible la instalación del proyecto de acuerdo a la evaluación del impacto ambiental.

En cuanto a los impactos negativos se desarrolló una matriz de mitigación, donde se recomiendan técnicas para disminuir y remediar los posibles daños al ambiente que tendría como consecuencia la instalación, operación y mantenimiento del parque eólico que se ubicara en la comunidad de San Vicente de Tipín.

ABSTRACT

Eolic energy had developed significantly over time. One proof is that people have implemented eolic farms in different parts of our world and the country.

The present paper is focused on identifying, analyzing and quantifying environmental impacts for the installation and subsequent operation of the eolic farm “SAN VICENTE DE TIPÍN”. A brief study on a eolic prospection study was carried out in the community San Vicente de Tipín (Guamote), determining a viability and demand of energy resources, with these the eolic energy conversion system was selected to electric power, which will consist of a MM82 brand REPOWERSYSTEM that generates 2.05 MW.

For environmental impact assessment, the matrix method was used, developing the matrix of Lázaro Lagos, environmental elements and some activities were identified which will be undertaken in stages of construction and operation of the eolic farm.

The Lázaro Lagos is matrix allowed us to determinate quantitatively and qualitatively the involment degree, finding 525 positive impacts and 182 negative ones, being greater the positive impacts; it is considered feasible the installation of the project according to the environmental impact evaluation.

A mitigation matrix of the negative impacts was developed, where techniques to reduce and remedy some environmental damage that might happen as result of its installation, operation and maintenance of the eolic farm that will be located in the community mentioned above.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La evaluación del impacto ambiental surge a fin de los años 60 en Estados Unidos, con el nombre de *Environmental Impact Assessment* (EIA), en algunos casos en lugar de *Assessment* se puede encontrar *Analysis* o *Statement*. El EIA introduce las primeras formas de control de las interacciones de las intervenciones humanas con el ambiente (ya sea en forma directa o indirecta), mediante instrumentos y procedimientos dirigidos a prever y evaluar las consecuencias de determinadas intervenciones. Todo esto con la intención de reducir, mitigar, corregir y compensar los impactos.

En 1969 se da un paso adelante, en los Estados Unidos, con la aprobación del *National Environmental Policy Act* (NEPA). Esta normativa dispone la introducción del EIA, el refuerzo del *Environmental Protection Agency* (con un rol administrativo de control), y dispone la creación del *Council on Environmental Quality* (con un rol consultivo para la presidencia).

En 1979, se aprueba el *Regulations for implementing the Procedural Provisions of NEPA*, un reglamento que vuelve obligatorio el EIA para todos los proyectos públicos, o que estén financiados por fondos públicos. (W.E.I., 2013)

El estudio del impacto ambiental es ejecutado directamente por la autoridad competente en otorgar la respectiva licencia final, está prevista la emanación de dos actos separados: uno relativo a la evaluación de los impactos ambientales y el otro relativo a la autorización de ejecutar la obra.

La evaluación de impacto ambiental nació por las presiones del público en favor de la protección del ambiente y por algunas preocupaciones de ciertos gobiernos debido a:

- Los problemas de fosfatos en los cuerpos de agua por flujos residuales.
- Inquietudes de aprovisionamiento de agua potable.
- Oposición de los ensayos y centrales nucleares.

Esto obligó a los gobiernos para la creación de organismos responsables de los asuntos ambientales, respaldados por leyes.

En el Ecuador el organismo encargado de los asuntos ambientales es el Ministerio de Ambiente, que se encarga de dictar políticas ambientales locales y califican las actividades que puedan causar impactos ambientales.

En la actualidad en el Ecuador uno de los proyectos más importantes que se está desarrollando es el proyecto Hidroeléctrico Coca-Codo Sinclair, que fue concebido inicialmente por el instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) durante los años setenta y ochenta aproximadamente como inventario energético de la cuenca de los ríos Quijos y Coca, que se formuló a partir de los estudios que realizó el INECEL sobre el enorme potencial hidroeléctrico y las excelentes características de la cuenca del río Napo, especialmente de su fuente principal, el río Coca desde sus orígenes hasta el sector denominado Coca Codo Sinclair. (C.C.S., 2013)

El análisis de impacto ambiental en un proyecto energético, consiste básicamente en:

- Caracterizar el estado de situación del área de influencia del proyecto.
- Determinar el grado de sensibilidad de los componentes ambientales y sociales del área de influencia del proyecto.
- Predecir, identificar y valorar los impactos ciertos y probables derivados de la ejecución del proyecto
- Diseñar un plan de manejo ambiental con las correspondientes medidas de prevención, control, mitigación, compensación, rehabilitación y contingencia para evitar, minimizar o mitigar los efectos sobre el ambiente.
- Diseñar el programa de monitoreo, control y seguimiento que permitirá asegurar el cumplimiento oportuno y adecuado del plan de manejo ambiental.

A la fecha se desarrollan varios proyectos energéticos de variada índole en Ecuador, entre ellos los relacionados con transformación y aprovechamiento de energías renovables,

particularmente los que están vinculados al aprovechamiento de la energía del viento, por lo que el presente estudio se enfoca al análisis de los impactos ambientales de parque eólicos.

1.2 Justificación

El estudio del impacto ambiental es un instrumento importante para la evaluación de un proyecto con relación al medio ambiente. Es un estudio técnico, objetivo de carácter pluri e interdisciplinario, que se realiza para predecir los impactos ambientales que pueden derivarse de la ejecución de un proyecto, actividad o decisión política permitiendo la toma de decisiones sobre la viabilidad ambiental del mismo. Constituye el documento básico para el proceso de evaluación del impacto ambiental.

1.2.1 Justificación técnica. La energía eólica es considerada por muchos especialistas como la energía del futuro. El uso de nuevas tecnologías permite un aprovechamiento cada vez más eficiente del poder del viento, que es limpio, renovable y abundante en todo el planeta. Pero pese a que la energía eólica tiene mucho futuro, es bien conocida desde un pasado lejano. La técnica de los molinos de viento, que aprovechaban el viento para mover maquinarias como moladoras de granos, fue utilizada en muchos países desde hace siglos. La energía eólica moderna también es producida por molinos, pero de otra generación. Son calificados como aerogeneradores, y consisten de un elevado mástil con una gran hélice que recoge el viento necesario para mover una productora de energía, una turbina.

Los investigadores de la energía eólica han producido avances destinados a conjugar las objeciones de sus críticos: aerogeneradores más silenciosos y capaces de aprovechar al máximo los vientos.

Tomando en cuenta que en la región sierra del Ecuador la presencia del viento es totalmente considerable, es justificable la creación de un parque eólico que contribuya a la generación de energía eléctrica.

1.2.2 *Justificación ambiental.* El primer inciso del artículo 96 de la Constitución de la República del Ecuador, obliga al Estado a proteger el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando un desarrollo sustentable, y velar que este derecho no sea afectado, además de garantizar la preservación de la naturaleza.

De conformidad con lo establecido en el artículo 20 de la Ley de Gestión Ambiental, para el inicio de cualquier actividad que suponga riesgo ambiental, debe contarse con la licencia ambiental, otorgada por el Ministerio del Ambiente.

En la actualidad, se está llegando al límite de la capacidad de los ecosistemas para regenerarse de la contaminación producida por el hombre. Un tercio del total de la contaminación generada a escala mundial procede del proceso de producción de electricidad. El desarrollo de las fuentes renovables de energía es deseable y necesario.

La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni a la formación de lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos como radiación ionizante ni residuos radiactivos.

Los posibles efectos de un proyecto eólico en el medio ambiente deben ser analizados con la realización de un estudio de impacto ambiental. En principio, las zonas naturales protegidas deberían quedar al margen del desarrollo de la energía eólica.

1.2.3 *Justificación social y económica.* Con la finalidad de aprovechar uno de los recursos renovables existentes en grandes cantidades, como lo es el viento, en partes específicas de la provincia de Chimborazo como en San Vicente de Tipín localizado en el Cantón Guamote. Se plantea proyectar un Parque Eólico que contribuirá a la generación de energía eléctrica para ser utilizada por los habitantes en todas sus actividades y producción en general.

La energía que se obtiene de un parque eólico es considerada más limpia, pero pueden existir efectos negativos que contaminan el medio donde va a ser implementado el

proyecto por lo cual es necesario el estudio de impacto ambiental para garantizar que no se afecte al desarrollo habitual de la población.

La proyección del parque eólico contempla realizar un análisis de factibilidad de instalación del sistema conversor de energía eólica, relacionado con el dimensionamiento (demanda y disponibilidad de recursos), selección de equipos y costos con el cual se garantice producir energía eléctrica rentable y de esta forma contribuir al desarrollo social y económico de los habitantes de San Vicente de Tipín y de esta forma evitar el abandono de la población.

Al presentarse la iniciativa de la proyección del proyecto eólico “San Vicente de Tipín”, se considera indispensable la realización de un análisis de impacto ambiental para garantizar la viabilidad ambiental del mismo. La evaluación del impacto ambiental en este proyecto contribuirá para desarrollar planes de mitigación de impactos, de capacitación y monitoreo.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Elaborar un estudio de factibilidad para la implementación de un parque eólico en la comunidad de San Vicente de Tipín y determinación de los impactos ambientales.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Estudiar el marco teórico del proyecto.

Determinar la factibilidad de disponibilidad y demanda del recurso energético.

Dimensionar el parque eólico.

Analizar costos del proyecto.

Determinar una metodología para el estudio de impactos ambientales.

Preparar una matriz para determinar los impactos ambientales.

Elaborar una matriz de medidas de mitigación de los impactos ambientales negativos.

Analizar el impacto ambiental del proyecto eólico.

Presentar una propuesta de mitigación ambiental de los impactos negativos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Proyecto eólico San Vicente de Tipín

San Vicente de Tipín es una comunidad ubicada en la parroquia de Palmira del Cantón Guamote aproximadamente a 50 km de Riobamba, se encuentra a una altitud que va desde 2600 hasta 4500 m.s.n.m. su temperatura anual es de 13.7 °C, constituyendo dos tipos de climas invierno y verano. El cantón Guamote presenta una topografía irregular debido a la influencia de las cordilleras Central y Occidental de los andes, razón por la cual este cantón resulta de gran interés para realizar estudios de energías alternativas como eólica y solar. La comunidad de San Vicente de Tipín constituye la zona desértica donde se puede apreciar vientos en meses de julio, agosto que van desde los 7 hasta 14 m/s.

2.2 Generalidades sobre fuentes alternas de energía

2.2.1 *Energía renovable.* Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovable se encuentran las hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, biomasa y los biocombustibles.

2.2.2 *Energías alternativas.* La energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas convencionales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. Según esta definición, algunos autores incluyen la energía nuclear dentro de las energías alternativas, ya que generan muy pocos gases de efecto invernadero. (GARCÍA, y otros, 2004, p. 32)

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía, éstas serían las energías alternativas.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales tales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación, o el aumento de los gases invernadero.

2.2.2.1 Energía hidráulica. Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona pero para la que se necesita construir infraestructuras necesarias que permitan aprovechar el potencial disponible con un costo nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas.

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento turbinas que mueven un generador eléctrico. En España se utiliza un 15% de esta energía para producir electricidad.

2.3 Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Se obtiene a través de una turbina eólica que son las que convierten la energía cinética del viento en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie de engranajes (transmisión mecánica) a un generador eléctrica.

El término eólico viene del latín Aeolicus (griego antiguo), perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde. (SANTILLÁN, 2000, p. 12-20)

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión).

Por lo que puede decirse que la energía eólica es una forma no-directa de energía solar, las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, son las que ponen al viento en movimiento.

2.4 Aerogeneración

El aerogenerador es un generador de corriente eléctrica a partir de la energía cinética del viento, es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por esta tecnología.

Actualmente se utiliza para su transformación en energía eléctrica a través de la instalación de aerogeneradores o turbinas de viento. De entre todas las aplicaciones existentes de la energía eólica, la más extendida, y la que cuenta con un mayor crecimiento es la de los parques eólicos para producción eléctrica.

Un parque eólico es la instalación integrada de un conjunto de aerogeneradores interconectados eléctricamente. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos que, básicamente, son la evolución de los tradicionales molinos de viento. Como tales son máquinas rotativas que están formadas por tres aspas, de unos 20 a 25 metros, unidas a un eje común. El elemento de captación o rotor que está unido a este eje, capta la energía del viento. Mediante el movimiento de las aspas o paletas, accionadas por el viento, activa un generador eléctrico que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica.

Estos aerogeneradores suelen medir unos 40 a 50 metros dependiendo de la orografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos. Este es uno de los grandes problemas que afecta a las poblaciones desde el punto de vista estético.

Los aerogeneradores pueden trabajar solos o en parques eólicos, sobre tierra formando las granjas eólicas, sobre la costa del mar o incluso pueden ser instalados sobre las aguas a cierta distancia de la costa en lo que se llama granja eólica marina, la cual está generando grandes conflictos en todas aquellas costas en las que se pretende construir parques eólicos. El gran beneficio medioambiental que reporta el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica viene dado, en primer lugar, por los niveles de emisiones gaseosas evitados, en comparación con los producidos en centrales térmicas. En definitiva, contribuye a la estabilidad climática del planeta.

Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29% de las emisiones de CO₂ del planeta.

Como energía renovable que contribuye a minimizar el calentamiento global. Si nos centramos en las ventajas sociales y económicas que nos incumben de una manera mucho más directa son mayores los beneficios que nos aportan las energías convencionales. El desarrollo de este tipo de energía puede reforzar la competitividad general de la industria y tener efectos positivos y tangibles en el desarrollo regional, la cohesión económica y social, y el empleo.

La industria eólica es un sector con indudable futuro. Las repercusiones que en materia de empleo está teniendo y va a tener esta dinámica inversión son sin duda importantes.

Los fondos invertidos a escala regional en el desarrollo de las fuentes de energía renovables pueden contribuir a elevar los niveles de vida y de renta de las regiones menos favorecidas o en declive mediante la utilización de recursos locales, generando empleos permanentes a nivel local y creando nuevas oportunidades para la agricultura. Las energías renovables contribuyen de esta forma al desarrollo de las regiones menos favorecidas, cuyos recursos naturales encuentran así una oportunidad.

La energía eólica supone una evidente contribución al autoabastecimiento energético. A pesar de que las ventajas medioambientales de la energía eólica son incuestionables, y de que existe un amplio consenso en nuestra sociedad sobre el alto grado de compatibilidad entre las instalaciones eólicas y el respeto por el medio ambiente, son muchos los que consideran que la instalación concreta de un parque eólico puede producir impactos ambientales negativos, que dependerán del emplazamiento elegido. Aunque muchas de ellas se encuentran en emplazamientos reservados.

Hay quienes consideran que la energía eólica no supone una alternativa a las fuentes de energía actuales, ya que no genera energía constantemente por falta o exceso de viento. Es la intermitencia uno de sus principales inconvenientes. El impacto con relación a la calidad del paisaje, los efectos sobre la avifauna y el ruido, suelen ser los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales de los parques eólicos.

Con respecto a los efectos sobre la avifauna el impacto de los aerogeneradores no es tan importante como pudiera parecer en un principio. Otro de los mayores inconvenientes es el efecto pantalla que limita de manera notable la visibilidad y posibilidades de control que constituye la razón de ser de sus respectivos emplazamientos, consecuencia de la alienación de los aerogeneradores. A las limitaciones visuales se añaden las previsibles interferencias electromagnéticas en los sistemas de comunicación. (A.M.V., 2013)

2.5 Dimensionamiento del sistema conversor de energía eólica en energía eléctrica (SCEE)

2.5.1 *Potencial eólico del lugar.* En el estudio preliminar para la proyección de un parque eólico es de vital importancia conocer la disponibilidad del recurso renovable que existe en el sitio que se desea instalar el parque eólico, en este caso el primer paso es determinar la cantidad existente de viento en San Vicente de Tipín en Guamote.

Para realizar la prospección preliminar y definitiva hay que tomar en cuenta que el recurso renovable viento o aire en movimiento presenta cambios debido a las condiciones físicas, geográficas del sitio en estudio.

Entre estos factores físicos se anotan:

- Posición geográfica del lugar
- Altura geográfica del sitio
- Orografía del lugar
- Período u hora del día
- Estación o época del año
- Estado ecológico del sitio de interés

Estos factores están relacionados directamente con la presencia del recurso sol, es decir que en el lugar a realizarse el estudio eólico existe una considerable radiación, puesto que el viento se origina por la diferencia de densidad del aire efecto del desigual calentamiento atmosférico producido por el sol.

En nuestro país Ecuador al encontrarse situado geográficamente en la zona ecuatorial o centro del globo terrestre se asegura una intensidad de radiación solar considerable y compatible para el aprovechamiento tanto de la misma energía solar como a su vez de la energía eólica por ser una derivación de esta.

La Provincia de Chimborazo que está ubicada en la región sierra del Ecuador cuenta con una gran intensidad de radiación solar y geográficamente es una provincia que cuenta con valles, laderas, montañas, que brindan una geometría especial para el aprovechamiento energético del viento.

Para obtener valores reales del recurso viento con fines energéticos, se recomienda que la velocidad del viento debe ser monitoreada por un periodo de por lo menos 10 años, pero esto retrasaría o incluso sería una causa para abandonar el proyecto energético basados en la demora de la implementación del proyecto, razón por la cual se recurre a técnicas de prospecciones preliminares que son realizadas en periodos más cortos de tiempo, que mediante modelación matemática nos dan valores semejantes a los reales.

El potencial eólico o densidad de potencia del viento o la cantidad de energía producida por el movimiento del aire es función de dos variables física descritas a continuación:

- *Densidad del aire.* Es la cantidad de masa de aire que se transporta en una unidad de volumen y es variable dependiendo de varios factores físicos como la temperatura del aire y la presión atmosférica del lugar. Se manifiesta que la densidad del aire disminuye con la altura geográfica del lugar.
- *Velocidad del viento.* Es el desplazamiento de la masa del aire en un determinado tiempo, este es el factor que más influye en la determinación del potencial eólico de un lugar puesto que el potencial de viento es función cúbica de la velocidad del mismo, a diferencia de la densidad que es una función lineal para su incidencia. (SANTILLÁN CHICA, 2006, p. 16-18)

2.5.1.1 Prospección eólica preliminar. La técnica de conocimiento del viento implica primeramente efectuar una prospección eólica preliminar, es decir en determinar a priori teórica, analítica y prácticamente si un lugar geográfico específico es o no un sitio de interés energético con viento, para lo que se requiere analizar muy detenidamente varios factores como: posición geográfica del lugar, información general del sitio, patrones diarios, estacional de recurso viento, identificación preliminar del viento, análisis de las condiciones eólicas del lugar mediante evidencia ecológica.

Una vez determinado que el lugar donde se realizara el estudio del proyecto es considerado un sitio de interés energético, se efectuará un estudio minucioso, se recopilaran datos para efectuar la prospección eólica preliminar en la que se averigüen las condiciones físicas y el posible potencial eólico del viento, para lo que se requiere preguntar de preferencia en los sitios asignados a las personas de más edad y conocimiento de la geografía local para tener acceso a datos muy confiables del viento y su comportamiento.

Al realizar la prospección eólica del lugar se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Ubicación Geográfica.* La ubicación geográfica del sitio de interés eólico permite conocer con total exactitud los lugares, donde eventualmente se pueden desarrollar proyectos energéticos, para lo que es necesario identificar en un mapa del lugar la posición geográfica que implica ubicar las coordenadas astronómicas, es decir latitud y longitud geográfica, además la altitud del lugar a fin de determinar mediante este parámetros la densidad del aire, también se requiere conocer los tipos

y longitudes de las vías de acceso y las distancias a los centros poblados, así como la localización del tendido de la red eléctrica nacional (SNI).

Figura 1. Sistema Nacional Interconectado



Fuente: http://www.conelec.gov.ec/images/documentos/doc_10235_MAPA_SISTEMA_NACIONAL_INTERCONECTADO_SNI.pdf

- *Patrón estacional.* El patrón estacional del recurso viento implica el conocimiento cabal de cómo se presenta el viento en un período de varios meses del año, es decir en una estación anual, como en nuestro país existen dos estaciones marcadas, invierno y verano, entonces se procurará identificar los meses de mayor y menor incidencia del viento, toda vez que el viento está relacionado con la presencia del sol, y este tiene un comportamiento diferente de intensidad en las dos estaciones mencionadas, con este datos se puede avizorar la presencia del viento en las estaciones manifestadas.

- *Patrón diario de viento.* El patrón diario del viento involucra el conocimiento de cómo se presenta el mismo en una y cada una de las horas del día, es decir, si el viento más o menos intenso está presente en las jornadas diurna o nocturna, y particularmente en que horario matutino, vespertino o nocturno se presenta con mayor potencial, esto está relacionado también con la presencia del sol y de las estaciones del año, entonces se procurará identificar las horas del día mayor y menor incidencia del viento. Estos datos son importantes pues de ello dependerá el conocimiento exacto de las horas del día de mejor aprovechamiento del recurso con fines de uso e integración de la electricidad al SNI.
- *Evidencia ecológica.* Este factor ambiental y físico permite determinar con mejor exactitud la presencia del recurso viento en un lugar y es el que puede determinar entre otras cosas si el sitio es de interés eólico, se basa en la observación y análisis de la vegetación propia del lugar y lugares aledaños, pues la misma indica con relativa exactitud, tipos de viento en el lugar, pues, vegetaciones escasas, rastreras e inclinadas determinarán presencia de vientos de diferente magnitud.

2.5.1.2 *Escala de Beaufort.* El Comandante de la Marina inglesa Beaufort, en sus largas travesías marítimas efectuó observaciones geográficas de diferentes sitios y concluyó las mismas con la afamada tabla de intensidad de viento que depende de evidencias físicas que se presentan en el ambiente, por acción de la fuerza del aire en movimiento, es decir se crea una tabla que incluye un número asignado al viento, un nombre característico para este, el rango de velocidades en el cual estaría este tipo de viento, y las evidencias ecológicas, físicas que ocasionan la intensidad del mismo, por lo que determinar un tipo de viento en base a esta tabla es cuantificar el recurso en forma ágil y preliminar. (ver Anexo A) (SANTILLÁN CHICA, 2006, p. 20-24)

2.5.1.3 *Sitios de interés eólico.* Con la prospección eólica preliminar se está en capacidad de conocer los potenciales sitios de aprovechamiento del viento con fines energéticos y luego del análisis de los diferentes ítems de las encuestas se levanta un mapa preliminar de los sitios de interés, para lo que se toma como base las siguientes recomendaciones técnicas de aprovechamiento del viento, manifestando que no existe un valor fijo de potencial de viento para determinar que un sitio es completamente idóneo,

esto, por la gran aleatoriedad del viento, este factor está relacionado con la aplicación requerida del SCEE y del consumo de la carga:

- Debajo de los 50 W/m², no existe interés energético del viento.
- De 50 a 150 W/m², hay interés para fines de bombeo de agua y consumos disperso de energía eléctrica a baja escala.
- De 150 a 500 W/m², se consideran zonas de buenas características para aprovechamiento eólico, sea cualquiera de las aplicaciones que se quiera efectuar.
- Más de 500 W/m², se consideran zonas de buenas características eólico energéticas para generación de electricidad. (con SCEE de menos de 0.5 MW)
- Zonas con 1000 W/m² de potencial se consideran sitios de interés eólico con características idóneas para la generación a mediana y gran escala (SCEE de más de 0.5 MW).

Se puede manifestar con certeza que sobre los 200 W/m² de densidad de potencial del viento es rentable la energía eólica.

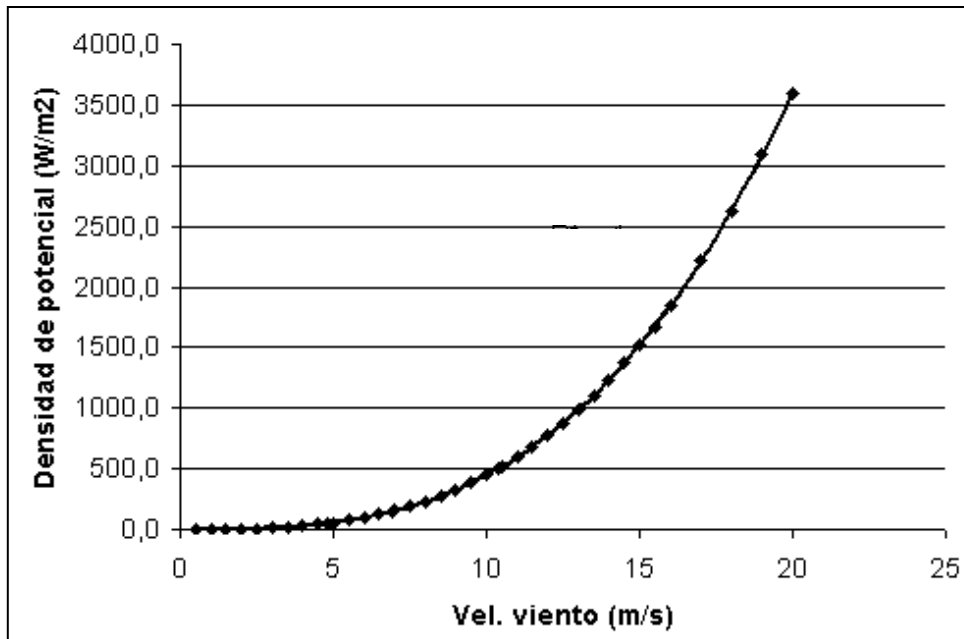
A continuación se presenta una tabla y un gráfico que cuantifica el potencial del viento y que sirve para la determinación de los sitios de potencial, esos datos han sido preparados para la Provincia de Chimborazo exclusivamente que considera una densidad del viento de aproximadamente 0.9 Kg/m³. (SANTILLÁN CHICA, 2006, p. 26-31)

Tabla 1. Aprovechamiento del potencial eólico en función de la velocidad del viento

APROVECHAMIENTO DEL POTENCIAL EÓLICO		
V_{viento} (m/s)	Densidad de potencia (w/m²)	Característica del lugar
0,0	0,0	
0,5	0,1	
1,0	0,5	
1,5	1,5	
2,0	3,6	
2,5	7,0	Sin interés eólico
3,0	12,2	
3,5	19,3	
4,0	28,8	
4,5	41,0	
4,8	49,8	
5,0	56,3	
5,5	74,9	Aprovechamiento a pequeña escala
6,0	97,2	Aerobombear y aerogeneración
6,5	123,6	
6,9	147,8	
7,0	154,4	
7,5	189,8	
8,0	230,4	
8,5	276,4	Buenas características eólicas
9,0	328,1	Aerogeneración a pequeña escala
9,5	385,8	
10,0	450,0	
10,4	506,2	
10,5	520,9	
11,0	599,0	
11,5	684,4	Muy buenas características
12,0	777,6	Aerogeneración a mediana escala
12,5	878,9	
13,0	988,7	
13,5	1107,2	
14,0	1234,8	
14,5	1371,9	Características idóneas
15,0	1518,8	Aerogeneración a gran escala
15,5	1675,7	
16,0	1843,2	
17,0	2210,9	
18,0	2624,4	
19,0	3086,6	
20,0	3600,0	

Fuente: SANTILLÁN CHICA, R. 2006. Estudio de prospección para la implementación de sistemas de aerogeneración en la provincia de Chimborazo

Figura 2. Potencial eólico



Fuente: SANTILLÁN CHICA, R. 2006. Estudio de prospección para la implementación de sistemas de aerogeneración en la provincia de Chimborazo

2.5.1.4 Equipos de medición de potencial eólico. Para la medición del potencial del viento se requiere de aparatos que midan la velocidad del fluido y que sean capaces de proporcionar datos horarios, es decir que a más de proporcionar el recorrido del viento en una hora (velocidad del viento horaria) sean capaces de proporcionar las velocidades instantáneas y acumuladas en períodos de tiempo.

El instrumento que mide la velocidad del viento de manera directa en aplicaciones eólicas es normalmente el anemómetro, siendo el más común el anemómetro de cazoletas. Los diseños actuales de este tipo de instrumento tienen tres cazoletas montadas sobre un pequeño eje. El anemómetro de cazoletas emplea su rotación, que varía en proporción a la velocidad del viento, para generar una señal. Para medir el ritmo de rotación de las cazoletas, se pueden emplear contadores mecánicos, variaciones de voltaje, o interruptores fotoeléctricos. Lo que se obtiene entonces es el desplazamiento creado por el flujo del viento y por tanto la distancia. Dividiendo ésta entre la unidad de tiempo de la muestra se obtiene la velocidad del viento.

Figura 3. Anemómetro de cazoletas



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. 2013. Atlas Eólico del Ecuador

También son utilizados, aunque menos, los anemómetros de hélice. El viento hace girar la hélice acoplada a un eje que genera una señal dependiente de este giro, de manera similar como lo hace el anemómetro de cazoletas. Si sólo se dispone de un anemómetro, éste se acopla a una veleta para orientarse automáticamente hacia el viento. También se pueden mantener fijos siguiendo dos o tres ejes cartesianos, empleando dos o tres anemómetros, obteniendo en este caso las componentes del vector. Para medir la dirección del viento normalmente se emplea una veleta. Su forma convencional consta de una cola ancha que el viento mantiene a sotavento de un eje de rotación vertical y de un contrapeso que se mantiene a barlovento y que proporciona el equilibrio necesario para que el instrumento gire lo más libremente posible. En la Figura 4 podemos observar que el contrapeso tiene una forma que nos apunta la dirección de la que viene el flujo. La señal de la posición de la veleta se obtiene por contactos de cierre de circuito o a través de potenciómetros.

Figura 4. Anemómetro de hélice



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. 2013. Atlas Eólico del Ecuador

Se puede comprar anemómetros baratos de algunos de los principales vendedores del mercado que, cuando realmente no se necesita una gran precisión, pueden ser adecuados para aplicaciones meteorológicas, y lo son también para ser montados sobre aerogeneradores. Sin embargo, los anemómetros económicos no resultan de utilidad en las mediciones de la velocidad de viento que se llevan a cabo en la generación eólica, dado que pueden ser muy imprecisos y estar pobremente calibrados, con errores en la medición de quizás el 5 por ciento, e incluso del 10 por ciento. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2013, p. 7-8)

Los anemómetros se utilizan para la medición de la velocidad del aire o de los gases, principalmente en conductos cerrados o en las salidas de sistemas de impulsión de aire/gases, aire acondicionado, climatización, etc.

Los anemómetros se dividen en dos tipos; uno para las mediciones indicadas para interiores y otro tipo para exteriores, es decir al aire libre. Estos últimos suelen ser de “cazos” o de las nuevas tecnologías, de sistema electrónico, ultrasónico.

En la Figura 5 se muestran tipos de anemómetros indicados, cuyas características técnicas pueden encontrarse en los catálogos generales de instrumentos, por ejemplo: Cole Parmer, Hewlett Packard, Labvolt, etc. (N.F.A., 2013)

Figura 5. Tipos de anemómetros



Fuente: SANTILLÁN, R. 2000. Fuentes alternativas de energía

Características del anemómetro utilizado para medir la velocidad del viento en el proyecto eólico San Vicente de Tipín:

MINITHERMO-ANEMOMETER EXTECH 45118. Este anemómetro digital con veleta de 1" de diámetro apagado automático y retención de datos, mide e indica los valores siguientes: m/s, ft/min, mph, nudos, km/h, cfm, m3/s, °C, °F y % de turbulencias.

Tabla 2. Características técnicas del Minithermo-Anemometer EXTECH 45118

Rango de velocidad:	0.5 – 28 m/s
Rango de volumen:	0 – 3000 m ³ /s
Resolución de velocidad:	0, 01 m/s
Rango de temperatura:	-18 – 50C°
Resolución de temperatura:	0,1 °C
Intensidad de turbulencia:	2 dígitos 0 – 99%
Área a introducir:	0, 008 – 99,99 m ²
Rangos de introducción lineales:	0,0001 – 9999 m (sujeto a límites de área)
Memoria:	99 mediciones de velocidad temperatura y turbulencia

Fuente: http://www.extech.com/instruments/resources/manuals/45118_UMsp.pdf

2.5.1.5 Recolección de datos de viento. La medición y recolección de datos del viento de San Vicente de Tipín – Guamote que se han determinado como sitio de interés energético eólico se lo ha efectuado con los aparatos sensores que proporcionan mediciones horarias de la velocidad del viento, para lo que se requiere disponer de torres que puedan medir la velocidad del viento a una altura estandarizada de 10 metros de altura (Organización Mundial de Meteorología) con la que se podría posteriormente escalar a diferentes altura que se compadezcan con el tamaño de las torres de sustentación de los aerogeneradores.

La velocidad del viento tiene una variación significativa con la altura respecto al suelo, es por ello que es necesario establecer leyes de extrapolación espacial de velocidad - altura.

Al incrementarse la altura respecto al suelo se incrementa también en forma exponencial la velocidad del viento, es por esta razón que se debe utilizar torres de sustentación lo suficientemente elevadas para aprovecha el viento de mejor manera.

La variación de la intensidad del viento en función de la altura es un parámetro fundamental, sobre todo para instalaciones de gran potencia con diámetros superiores a los 30 m, como eventualmente sería el caso que nos ocupa.

En forma simplificada esta variación velocidad-altura, se puede expresar mediante la relación:

$$V = V_o * \left(\frac{h}{h_o}\right)^n \quad (1)$$

Donde:

V = Velocidad del viento a la altura requerida h

V_o = Velocidad del viento a la altura de referencia h_o

h = Altura requerida

h_o = Altura referencial estándar

n = Coeficiente de espectro geográfico

El coeficiente de espectro geográfico depende de la estabilidad atmosférica y de la orografía del terreno considerado. Valores típicos son:

- n = 0.19 para zonas llanas
- n = 0.29 para zonas accidentadas.

2.5.1.6 Curvas de viento. Una de las mejoras formas de entender el grado de intensidad aleatoria del viento es recolectar, datos cada hora de la velocidad del viento de un lugar predeterminado en la prospección eólica preliminar por períodos de tiempo considerados, que pueden ser semanales, mensuales, estacionales, anuales y procesarlos convenientemente en cuadros, para la presente proyecto de factibilidad se presenta procesamiento de datos mensuales a manera de guía para eventuales aplicaciones eólicas energéticas.

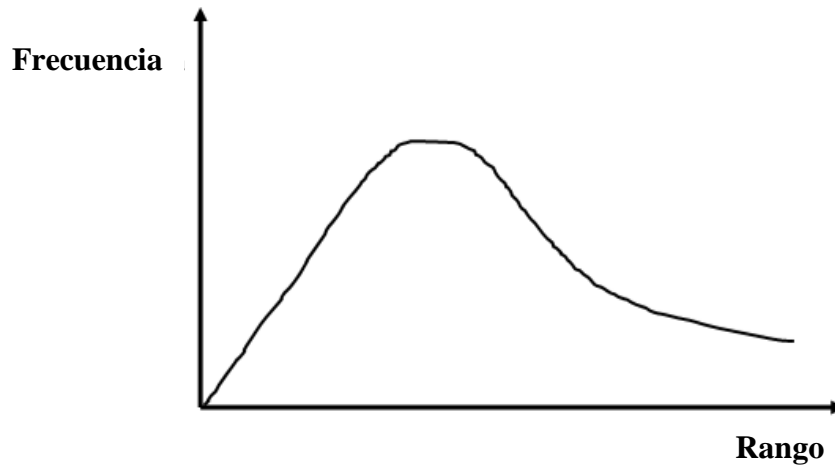
La representación gráfica de las curvas de viento es:

- Curva de frecuencia de velocidades
- Curva de duración de velocidades
- Curva de duración de potencia del viento

Curva de frecuencia de velocidades. La curva de frecuencia de velocidades, como su nombre mismo lo indica es un gráfico que muestra en un histograma la frecuencia con que se repite un rango de velocidad del viento en el período analizado, para su

construcción se ubica frecuencia de velocidades en el eje Y, y el rango de la velocidad en el eje X, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Curva de frecuencia de velocidades

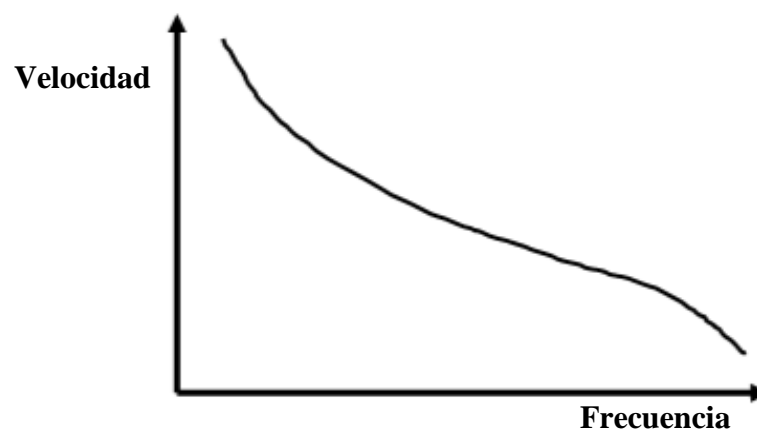


Fuente: SANTILLÁN, R. 2000. Fuentes alternativas de energía

Curva de duración de velocidades. En la siguiente curva se indica en forma progresiva el número de horas en que el viento tuvo una velocidad superior a los valores de cada ordenada.

Se grafica mediante la asignación de los datos tabulados, ubicando valores de velocidad de viento en la ordenada Y, y valores de tiempo en la abscisa X, como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7. Curva de duración de velocidades



Fuente: SANTILLÁN, R. 2000. Fuentes alternativas de energía

Curva de duración de potencia. Esta curva tiene su utilidad pues permite conocer la duración de la potencia del viento que puede ser generada por la velocidad censada del viento en el lugar de interés, se la construye al colocar la velocidad el viento en el eje de las abscisas X y el potencial eólico en el eje de las ordenadas Y, en base de la ecuación de densidad de potencia; a saber:

$$\frac{P}{A} = 0,5 \rho V^3 \quad (2)$$

Donde:

P/A = densidad de potencia del viento (w/m²)

ρ = densidad del aire en el lugar (Kg/m³)

V = velocidad media del viento (m/s)

La densidad del aire en una localidad ubicada a 0 m.s.n.m. y 1 atmósfera de presión es igual a 1.25 Kg/m³, y este valor varía con la altura geográfica, ya que cuando la cota geográfica sube la densidad del aire disminuye, según la expresión:

$$\rho = 1,25 \left[\left(\frac{268.13}{T} \right) \cdot \left(\frac{P_{atm.}}{760} \right) \right] \quad (3)$$

Dónde:

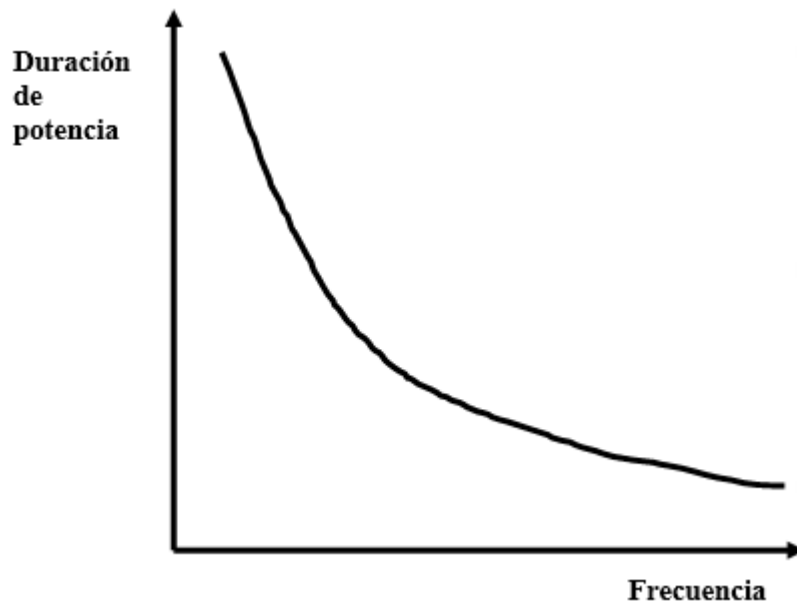
T = temperatura promedio del aire del lugar (°K)

$P_{atm.}$ = presión atmosférica del lugar (mm Hg)

268.13 = temperatura equivalente de la atmósfera superior (°K)

760 = valor de la presión atmosférica a nivel de mar (mm Hg)

Figura 8. Curva de duración de potencia



Fuente: SANTILLÁN, R. 2000. Fuentes alternativas de energía

2.5.1.7 Determinación del potencial eólico. Una vez que se ha conocido la velocidad media del viento en un período representativo, se procede a determinar matemáticamente el potencial eólico del lugar, que puede basarse en los cálculos de determinación de la densidad de potencia del viento (W/m^2), utilizando convenientemente la ecuación y este valor se lo puede determinar también para tiempos horarios, diarios, semanales, mensuales y de período determinado.

2.5.1.8 Mapa eólico de la zona potencial. Una interesante manera de determinar el potencial del viento de una zona, como por ejemplo un cantón, una provincia, es en base a presentar un mapa del lugar en donde se establezcan una gama de colores representativos de los diferentes rangos de potencial de viento, para lo que se podría utilizar la Tabla 1, sus colores y valores ubicándolos convenientemente en los sitios determinados tanto preliminarmente como los determinados mediante la medición de velocidades y la cuantificación del potencial en forma analítica. (ver Anexo B)

2.5.2 Demanda energética. La demanda energética es el primer parámetro que se analiza en un proyecto de factibilidad de generación eléctrica y no es otra cosa que la sumatoria de las necesidades de energía para una localidad, más como la demanda está dada

anteriormente y es del 6.7% anual debido al crecimiento poblacional, industrial y de servicios, pues, esta será la demanda insatisfecha y que en Ecuador alcanza los 200 MW anuales y en la Provincia al menos se requiere de 4 MW anuales y en cinco años se tendría una demanda de al menos 20 MW.

Esta energía alternaría con la convencional del SNI y sería administrada por la EERSA, que preside el H. Consejo Provincial de Chimborazo, lo que implicaría a más del servicio al usuario, una rentabilidad económica importante para el desarrollo de la Empresa Eléctrica Riobamba y sus socios estratégicos.

Una vez que el proyecto es viable, en sus aspectos técnico y económico, no importa donde exista el recurso viento, pues la energía generada se acoplaría al SNI, para servicio comunitario y los costos manejarían la EERSA.

2.5.2.1 Energía disponible. Para el proyecto que se analiza, la energía disponible es la proveniente del viento existente en las diferentes zonas de la Provincia, esencialmente de los Cantones: Guano, Guamote, Alausí, Penipe, principalmente, que son los sitios de interés escogidos luego de la prospección eólica preliminar, y se identifican desde vientos de 3.5 hasta 16 m/s como aprovechables con buena rentabilidad para la energía eólica. Los lugares para una eventual implementación de proyectos de energía eólica se anotan:

Tabla 3. Lugares de interés eólico

LUGAR	CANTÓN	POTENCIAL EÓLICO
San Vicente de Tipín	Guamote	500-1000 W/m ²
Busay	Guamote	200-1000 W/m ²
Tacón	Guamote	150-700 W/m ²
Sta. Rosa	Guano	150-700 W/m ²
Ilapo	Guano	150-700 W/m ²
Rio Chambo	Penipe	100-700 W/m ²
Las Juntas	Penipe	200-1200 W/m ²

Fuente: BORJA, M. 2009. Tesis “Diseño de un sistema alternativo de producción de energía en la zona turística de Chachimbiro”, ESPOCH, Riobamba

2.6 Selección de equipos

2.6.1 Proyección de sistemas eólicos. La proyección de sistemas conversores de energía eólica se fundamenta en la comparación entre la demanda energética y la disponibilidad de energía del viento existente en los lugares predeterminados, por lo que la proyección preliminar se la efectuará considerando el potencial de viento que es capaz de generar electricidad en equipos debidamente diseñados que consideren altos valores de eficiencia (0.3-0.5). Lo que nos conduce al dimensionamiento de los sistemas eólicos a implementar.

La proyección de los sistemas se analiza por la expresión:

$$Energía\ requerida = Energía\ disponible \quad (4)$$

ó

$$\sum Energías\ requeridas = \frac{Potencial\ del\ viento}{tiempo} \quad (5)$$

2.6.2 Variables de la demanda energética

2.6.2.1 Potencia eléctrica requerida. Es la energía requerida en un determinado tiempo (W), que presenta un sitio de interés, para lo que se efectúa la sumatoria de todas las energías requeridas por los consumidores, en función del uso de la energía.

$$Potencia\ requerida = \sum_{i=1}^n Energia_i / tiempo \quad (6)$$

Tabla 4. Datos para determinar la potencia requerida de San Vicente de Tipín

DATOS	VALORES
N° Comunidades	1
N° De familias	116
N° De habitantes por familia promedio	6
N° De habitantes	696
Total de usuarios actual	696
Tasa de crecimiento de usuarios	3 %
Proyección	25 años
Total de usuarios proyectados	522
Total de usuarios del proyecto	1218
Consumo eléctrico por usuario	$50 \frac{KW - h}{persona * mes}$
Necesidad energética del proyecto mensual	$60900 \frac{KW - h}{mes}$
Necesidad energética del proyecto diaria	$2030 \frac{KW - h}{dia}$

Fuente: Junta parroquial de Palmira

Disponibilidad de energía. Es la energía que proporciona el viento en el sitio de interés energético, dada por la expresión:

$$Potencia\ disponible = 0,5 * \rho AV^3 \quad (7)$$

Luego de tomar los datos necesarios para determinar potencia eólica disponible del lugar, se realiza una revisión de los conceptos y fórmulas que nos permiten hallar la expresión anterior, en la que se remplazara los datos y de esta forma se tendrá un valor de potencia eólica de acuerdo a las características geográficas y la velocidad del viento en San Vicente de Tipín.

Velocidad. Utilizando el anemómetro adecuado se procede a tomar distintos datos de velocidad a diferentes horas del día, para determinar un valor promedio con el cual se realizará los cálculos. (ver Anexo C)

La velocidad media a 10m es $V=7,45$ m/s

La velocidad media a 100m es $V= 13$ m/s

Altura del lugar. Este dato se tomara midiéndolo con un altímetro.

$X_2=3400$ ms.n.m

Densidad. Este valor se lo determina tomando en cuenta la altura que tenemos.

$d= 1,25$ kg/m³ a 0 msnm

$d= 0,825$ kg/m³ a 3400 msnm

$dX_2 = dX_1 - (10\% X_2)$

Se debe restar el 10% por cada 1000m de altura sobre el nivel del mar.

De la energía cinética se puede tomar la siguiente ecuación para determinar la densidad de potencia generada por el viento.

$$k = \frac{1}{2} m V^2 \quad (8)$$

Como la densidad es igual:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (9)$$

Donde m es la masa del aire, v el volumen.

De la ec. (9) despejemos la masa m y se tiene;

$$m = \rho V \quad (10)$$

Reemplazando la ec. (10) en la ec. (8) se tiene:

$$k = \frac{1}{2} \rho v V^2 \quad (11)$$

Como se conoce que: $v = A x$, y reemplazando en la ec. (11) se tiene:

$$\frac{k}{t} = \frac{1}{2} \rho A \frac{x}{t} V^2 \quad (12)$$

Al dividir los dos miembros para el tiempo se tiene que la potencia es:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (13)$$

De esta forma se obtiene la densidad de potencia que finalmente es igual a;

$$\frac{P}{A} = 0,5 \rho V^3 \quad (14)$$

Reemplazamos los datos en la ec. (14), se tiene:

Para una velocidad media 7.45 m/s;

$$\frac{P}{A} = 0,5 \left(0,825 \frac{kg}{m^3}\right) \left(7,45 \frac{m}{s}\right)^3 = 170,566 \frac{W}{m^2}$$

Para una velocidad media de 13 m/s;

$$\frac{P}{A} = 0,5 \left(0,825 \frac{kg}{m^3}\right) \left(13 \frac{m}{s}\right)^3 = 906,262 \frac{W}{m^2}$$

La energía por unidad de área es igual a:

$$\text{Energía} = \text{potencia} * \text{tiempo}$$

La energía por unidad de área disponible será:

$$E = \frac{720}{1000} * P$$

$$E = \frac{720}{1000} * 170,566 = 122,80 \frac{KW - h}{m^2 mes}$$

Calculo de la potencia a una altura de 70 m donde se encuentra el buje del aerogenerador.

$$V = V_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^n$$

Donde:

$$n = 0,29$$

$$V = 7,45 \left(\frac{70}{10} \right)^{0,29}$$

$$V = 13,09 \frac{m}{s}$$

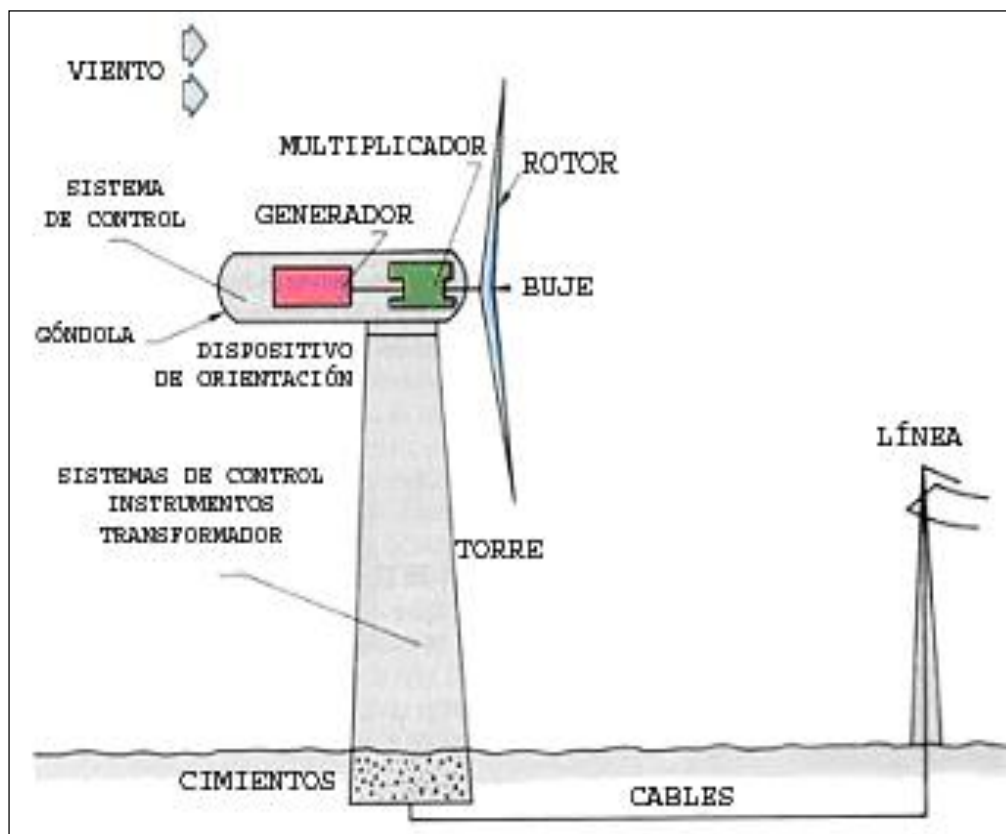
$$\frac{P}{A} = 0,5 \left(0,825 \frac{kg}{m^3} \right) \left(13,09 \frac{m}{s} \right)^3 = 925,215 \frac{W}{m^2}$$

$$E = \frac{720}{1000} * 925,215 = 666,154 \frac{Kw - h}{m^2 mes}$$

2.6.3 Partes constitutivas del SCEE. Un SCEE, destinado a la producción de electricidad, generalmente está constituido de las siguientes partes principales:

- Rotor aerodinámico
- Multiplicador de velocidad
- Tornamesa (buje)
- Sistema de control (dispositivo de orientación y control)
- Torre de sustentación
- Cimentación
- Sistema eléctrico (generador)
- Sistemas auxiliares
- Línea de transmisión (cables)

Figura 9. Partes constitutivas del SCEE



Fuente: SANTILLÁN CHICA. R. 2006. Estudio de prospección para la implementación de sistemas de aerogeneración en la provincia de Chimborazo

Los mismos que pueden variar notablemente, debido al cambio de tecnología, costos, operación y demás factores que inciden en la transformación eólica. Se anota además, que las tecnologías que ofrecen las diferentes industrias constructoras de aerogeneradores, permiten tener variados equipos tanto en sus dimensiones como en su geometría.

Los aerogeneradores de tres palas dominan el mercado actual de tecnología (solo 3% son Darrieus o bipala). Con potencias que van desde los 50 a algo más de 1 MW, se producen en escala totalmente comercial. La gran mayoría utiliza generadores asincrónicos. El tamaño de las máquinas ha ido creciendo con el desarrollo tecnológico; a comienzos de la década del 80 eran usuales potencias entre 30 y 100 KW, actualmente la mayoría de las máquinas que se están instalando tienen potencias entre 400 KW y 3,2 MW nominales (100 metros de diámetro) y en la actualidad está en operación SCEE de hasta 5 MW, como es el caso del Sistema 5M, de la Empresa REPOWER SYSTEMS, que genera hasta 5 MW, con diámetros de rotor de 126 metros, son distribuidos por diferentes casas comerciales de aerogeneradores. (BORJA, 2009, p. 30-34)

2.7 Condiciones técnicas de fundamento del parque eólico

Características técnicas del parque eólico: (ver Anexo D)

- No. de aerogeneradores: 1
- Tipo de aerogenerador: MM 82 REPOWER SYSTEM
- Potencia nominal unitaria: 2.05 MW
- Diámetro de rotor: 82 metros
- Número de palas: 3
- Altura de torre: 100/120 metros al buje
- Potencia total instalada: 2.05 MW
- Producción neta anual estimada: 17958 MWh/año
- Factor de carga: 30% max.

2.8 Análisis del impacto ambiental del proyecto eólico “San Vicente de Tipín”

El proyecto eólico San Vicente de Tipín, que consiste en la generación de energía eléctrica, por medio de aerogeneradores los cuales aprovechan el recurso viento abundante en la zona, se puede considerar como un proyecto de generación de energía limpia que no contribuye al efecto invernadero, no obstante se puede descartar la presencia de contaminación al medio ambiente.

La posible contaminación que puede llegar a causar la implementación del proyecto eólico, hace de vital importancia el incorporar a este proyecto un análisis de impacto ambiental.

CAPÍTULO III

3. ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO Y DETERMINACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

3.1 Etapas del proyecto

Es importante determinar las actividades que se deben efectuar para la construcción y operación del proyecto eólico.

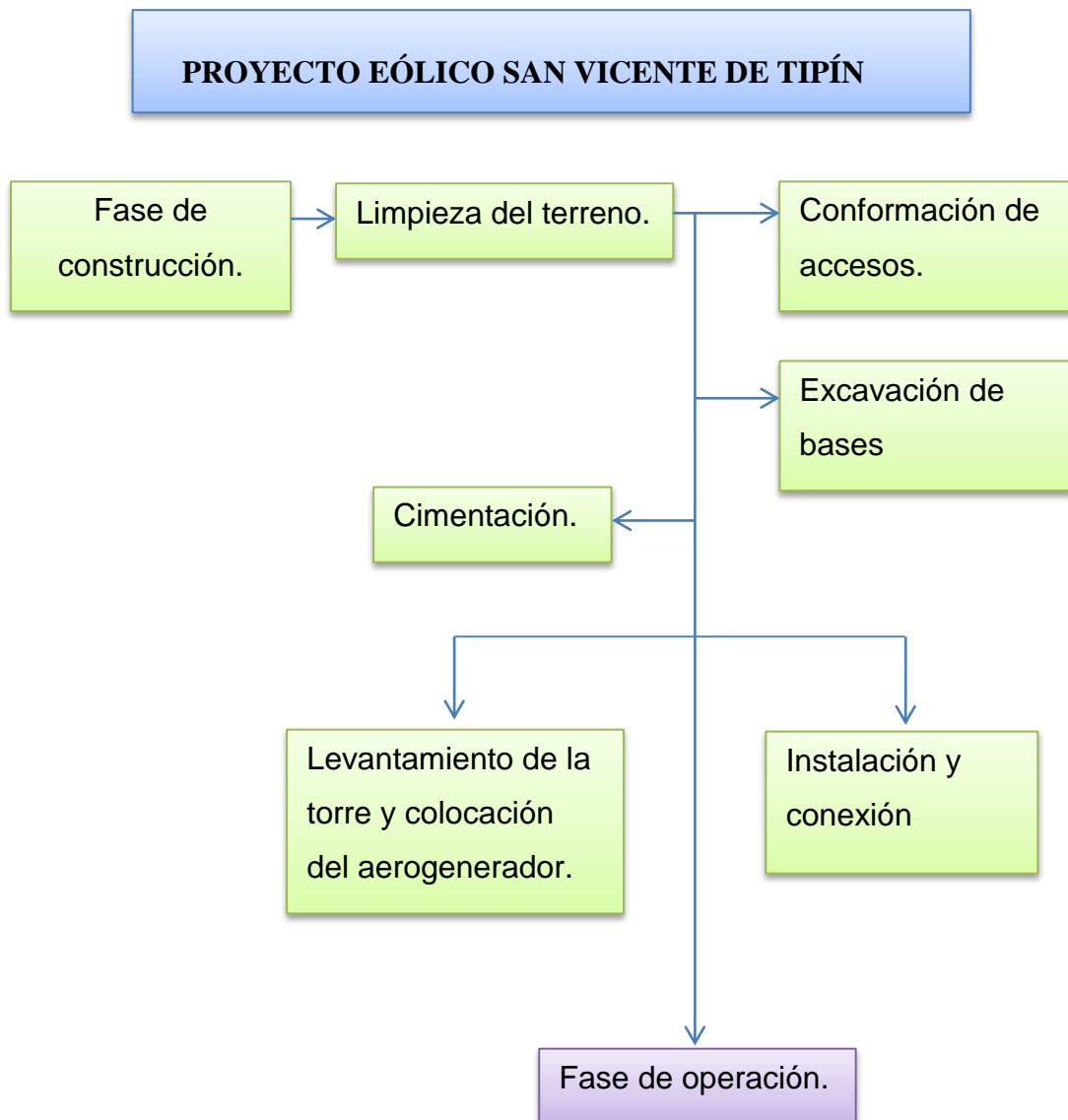
Construcción. Esta fase se la realizara de acuerdo con la siguiente secuencia:

- Limpieza del terreno.
- Conformación de accesos.
- Excavaciones para bases.
- Cimentaciones.
- Levantamiento de la torre y colocación del aerogenerador.

Operación. En esta fase se contemplara el inicio de la operación y la vida útil del mismo. En términos generales, en esta fase se estaría generando energía eléctrica a partir de una fuente renovable y no contaminante, la cual sería distribuida a través de la infraestructura ya existente, a sus diferentes asociados.

Flujograma de actividades. De acuerdo con la información antes mencionada, se plantea que la ejecución de las actividades siguiendo un orden lógico hasta la finalización del proyecto, es la siguiente:

Figura 10. Flujograma de actividades



Fuente: Autora

Luego de determinar que existe un potencial eólico suficiente para abastecer de energía eléctrica a San Vicente de Tipín, se realiza la inspección del lugar donde se instalará el parque eólico, al contar con grandes cantidades de territorio disponible se procede con la fase de construcción.

En esta fase la primera parte consiste en la limpieza del terreno es decir en adecuar el territorio disponible, a la vez que se lleva a cabo esta etapa también se puede trabajar en la conformación o adecuación de las vías de acceso.

En el caso de San Vicente de Tipín la conformación de vías no son necesarias puesto que cuenta con vías a las cuales se les puede adecuar para la transportación de materiales, maquinaria y aerogenerador que se van a utilizar en la instalación del proyecto.

Para la transportación de materiales, maquinaria y aerogenerador se la puede realizar directamente desde la ciudad de Riobamba ubicada a 50 Km de Guamote desde ahí completar la transportación por una vía secundaria hasta San Vicente de Tipín a 5 Km de Guamote.

En la etapa de excavación y cimentación se debe tomar en cuenta que para instalar el aerogenerador se requiere construir una plataforma de cimentación de forma cuadrada la magnitud varía de acuerdo al tipo de aerogenerador. (U.M.M., 2013)

3.1.1 *Factibilidad técnica del proyecto.* En nuestro País como en el resto del mundo se tiene un crecimiento poblacional acelerado el cual influye directamente en el abastecimiento energético razón por la cual la demanda energética industrial, comercial y residencial aumenta.

En el Ecuador la demanda energética anual rebasa el 7.25 % de energía instalada actualmente por lo cual es necesario la implementación de proyectos que contribuyan a la generación de energía eléctrica.

Nuestro país actualmente se encuentra implementando proyectos donde se pueda aprovechar los recursos renovables, eólico, solar en pequeña y grande escala para disminuir en cierta parte la demanda energética existente utilizando recursos que existen en la naturaleza de una forma abundante y si cabe el termino gratuito como son el viento y el sol.

En el presente trabajo se trata de demostrar que es factible la implementación de un proyecto eólico en la comunidad de San Vicente de Tipín en la provincia de Chimborazo, puesto que se cuenta con la materia prima de una forma natural (viento), sin ningún costo. También se incluye un estudio de impacto ambiental donde se puede determinar el posible

daño causara la implementación del proyecto con su respectiva mitigación y control del impacto ambiental negativo existente.

El costo de la energía generada en la provincia y en el país utilizando los recursos convencionales con su respectiva transformación se presenta a continuación en la tabla con el fin de demostrar una justificación clara de la importancia de la implementación de un proyecto eólica a pequeña escala.

Tabla 5. Tipo de central vs costo de Electricidad

TIPO DE CENTRAL	COSTO (USD / KW-h)
Eólica	5 - 22
Carbón	3 - 11
Nuclear	4 - 18
Fuel Oil	4 - 14
Gas Natural	2 - 10
Hidráulica	3 - 20
Biomasa	6 - 14
Fotovoltaica	10 - 37

Fuente: BORJA, M. 2009. Tesis Diseño de un sistema alternativo de producción de energía en la zona turística de Chachimbiro, ESPOCH, Riobamba

En la Tabla 6 se presenta el costo de la contaminación de la diferente forma de producción de la energía eléctrica en la que se observa que la aerogeneración es mínima en comparación de las demás formas. La instalación de un sistema conversor de energía eólica en energía eléctrica presenta poca contaminación puesto que no existen emisiones de gases.

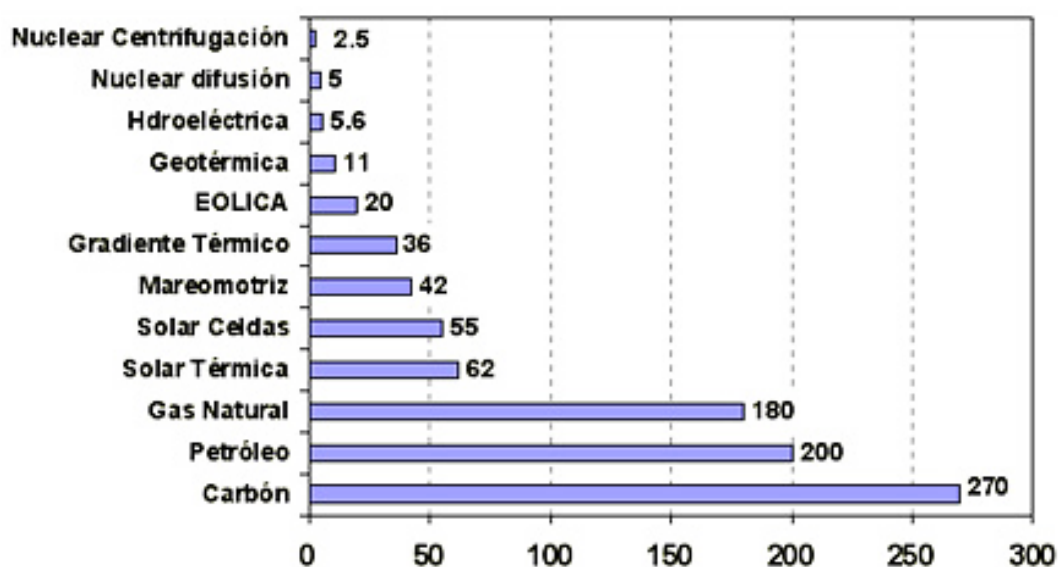
Tabla 6. Costos ambientales en función de tipo de generación

Tipo de Recurso	Costo Ambiental USD/KW-h
Carbón	
Turbo-vapor	0,058
Gasificación Ciclo Combinado	0,025
Lecho Fluidizado	0,028
Petróleo	
Turbo-vapor, 0,5% Azufre	0,027
Turbotas	0,025
Gas Natural	0.010
Nuclear	0.029
Biomasa	0 a 0,007
Solar	0 a 0,004
Eólica	0 a 0,001

Fuente: The Environmental Costs of Electricity, Pace University Center for Environmental Legal Studies, New York, 1990

En la Tabla 7 se indica la cantidad de emisiones de CO₂ de los métodos comunes de generación eléctrica así como la de energías renovables, la generación de energía eléctrica en base a energías renovables en este caso con energía eólica nos presenta muy poca emisión de CO₂ por lo que se puede decir que la generación de electricidad por medio de energía eólica contribuye a disminuir la contaminación del planeta.

Tabla 7. Emisiones CO2 en tipos de generación (gr. CO2/Kwh)



<http://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc32/images/foto9b.jpg>

3.1.2 *Transportación, transmisión y distribución de energía.* Una de las etapas en la implementación del parque eólico en San Vicente de Tipín es la operación, es decir la producción de la energía eléctrica, en esta etapa también se debe contemplar la forma como la energía producida por el parque será llevada hasta los beneficiarios del proyecto, razón por la cual se incluye un estudio sobre los sistemas de subministro de energía.

3.1.2.1 *Definición de un sistema de sub-transmisión.* Un sistema de subtransmisión es un conglomerado integrado por líneas, subestaciones y grandes consumidores de energía eléctrica que manejan voltajes superiores a 34.5 KV y menores a 220 KV, en el caso del Ecuador estos voltajes oscilan entre 67 KV y 69 KV.

La etapa de subtransmisión puede considerarse entonces como un punto intermedio entre las etapas de transmisión y distribución de un Sistema Eléctrico de potencia, debido al nivel de voltaje al que trabaja, y por lo tanto es de vital importancia monitorear continuamente este sistema para tomar las decisiones más acertadas que garantice su correcto funcionamiento. Antes de llegar a la etapa final de distribuir la energía los beneficiarios del proyecto se debe seguir los siguientes pasos:

a. *Etapa de generación.* La etapa de generación consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras

en energía eléctrica. En nuestro caso particular esta etapa se realiza utilizando la energía cinemática del viento transformada en energía eléctrica por medio de aerogeneradores.

Líneas de media tensión. A partir de las centrales eléctricas se emplean líneas de media tensión para la transmisión de la energía hacia la primera estación transformadora que eleva el voltaje de la energía para posibilitar su óptima transmisión.

- b.** *Etapa de transmisión.* Una vez producida la energía eléctrica, se hace necesario adecuarla para el transporte a largas distancias permitiéndonos así unir eléctricamente las centrales generadoras con las instalaciones de abonado.

Además un sistema de sub-transmisión contiene los siguientes elementos:

- *Estaciones Elevadoras.* Las estaciones elevadoras permiten aumentar la tensión procedente de las centrales generadoras, hasta valores de muy alta tensión.
- *Líneas de transporte.* Una línea de transporte de energía eléctrica es el medio físico mediante el que se realiza la transmisión de la energía a grandes distancias: con estructura de forma mallada que permite transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles.

El transporte de corriente eléctrica alterna es más económica a muy alta tensión, las razones para esta elevación de la tensión se encuentra en la relación entre la potencia, la tensión y la intensidad de corriente. Un aumento de potencia significa un aumento de intensidad que circula, por la línea, y por tanto, aumenta las pérdidas por calentamiento de los conductores y por los efectos electromagnéticos. Además, una mayor intensidad de corriente requiere de conductores de mayor sección, y en consecuencia, con mayor peso por unidad de longitud. Por este motivo, para mantener la potencia de la línea y minimizar la intensidad de corriente se aumenta la tensión.

Clasificación de las líneas de transporte:

- *Transmisión Aérea.* El esquema más utilizado por su menor costo y construcción simple. Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte como se muestra en la Figura 11. Adicionalmente las líneas

de tensión requieren cables de guarda para proteger la línea de las descargas directas de los rayos.

Figura 11. Líneas de transmisión eléctrica



<http://www.elmensajero.cl/wp-content/uploads/2012/03/electricidad-torres.jpg>

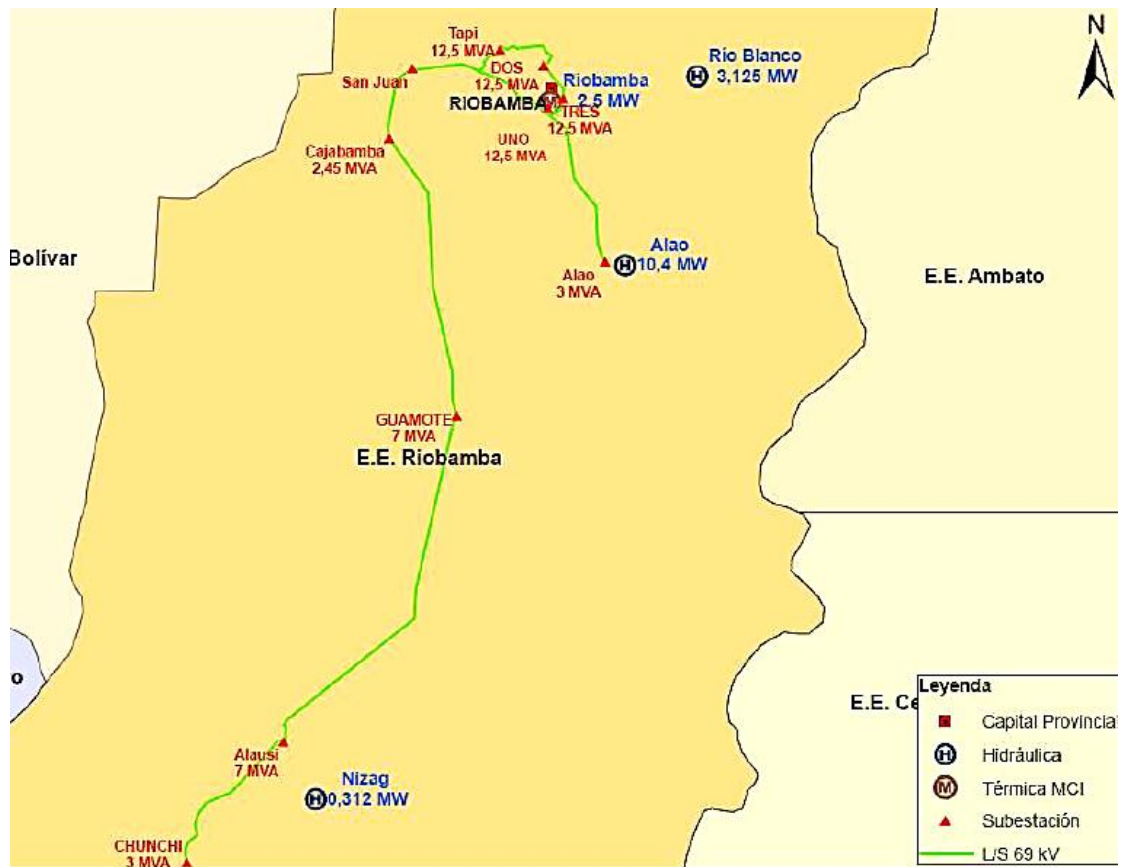
- *Transmisiones subterráneas.* Es el esquema empleado en grandes ciudades, donde las líneas aéreas constituyen un peligro por encontrarse junto a los conductores de alumbrado y teléfono. El transporte de la energía se la realiza a través de tubos o ductos empotrados a más de un metro de profundidad bajo el nivel de piso.

- c. *Etapas de distribución.* En esta fase tiene la reducción de muy alta tensión a alta media tensión. En este nivel de tensión tiene lugar la distribución de la energía entre los centros de transformación, que sirve de enlace con los usuarios finales. En esta etapa se puede diferenciar dos redes diferentes:
 - *Red de reparto.* Es el tramo que partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía mediante topología de anillo que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las subestaciones transformadoras de distribución. El nivel de voltaje de esta línea es 69KV, por lo que corresponde a media tensión.
 - *Red de distribución.* Define una red topológica tipo radial que cubre la superficie de los centros de consumo, permite enlazar las subestaciones transformadoras de

distribución con los centros de transformación. La línea de distribución empleada este tramo maneja un voltaje de 13.8 KV y corresponde a la última etapa del suministro en media tensión.

Red de sub-transmisión. El sistema eléctrico de la Empresa eléctrica Riobamba, se encuentra formada por el sistema de Subtransmisión a 69KV tiene una longitud aproximada de 134 Km, el cual está conectado al Sistema Nacional Interconectado, a través de la Subestación Riobamba perteneciente a Transelectric. La línea de 69 KV interconecta las subestaciones de distribución, los puntos de alimentación desde las centrales de generación y la Subestación Riobamba junto con las subestaciones N1 (Chibunga), N2 (Maldonado, N3 (Parque industrial), N4 (Tapi), que conforman un anillo que encierra básicamente toda la zona urbana de la ciudad de Riobamba como se indica en la Figura 12.

Figura 12. Línea interconectada 69 KV



Fuente: YANQUI, V. 2010. Tesis “Estudio y diseño de una red de telemedición utilizando tecnología BPL para la empresa eléctrica S.A.”, ESPOCH, Riobamba

El resto del sistema de subtransmisión presenta una configuración radial, siendo lo más destacado en este respecto, la interconexión de la central Alao y la S/E N1 con una línea de 17 Km. Así mismo se alcanza radialmente el sur de la provincia a través de las Subestaciones N6 (San Juan Chico), N7 (Cajabamba), N8 (Guamote), N9 (Alausi), N10 (Chunchi).

Subestaciones. El sistema de subtransmisión consta de 10 subestaciones de distribución como indica la Tabla 8.

Tabla 8. Subestaciones de distribución de la EERSA

Nombre subestación	Ubicación		Tipo	Voltaje(Kv)	
	Canto	Parroquia		Entrada	Salida
S/E 1 Chibunga	Riobamba	Veloz	R	69	13,8
S/E 2 Maldonado		J. Veloz	R	69	13,8
S/E 3 Parque industrial		Maldonado	R	69	13,8
S/E 4 Tapi		Lizarzaburo	R	69	13,8
S/E 6 San Juan Chico		San Juan	S	69	69
S/E 7 Cajabamba	Cajabamba	Cajabamba	R	69	13,8
S/E 8 Guamote	Guamote	Guamote	R	69	13,8
S/E 9 Alausí	Alausí	Alausi	R	69	13,8
S/E10 Chunchi	Chunchi	Chunchi	R	69	13,8
S/E 13 Alao	Riobamba	Licto	R	69	13,8

Tipo; E= elevación, S= seccionamiento, R= reducción.

Fuente: YANQUI, V. 2010. Tesis “Estudio y diseño de una red de telemedición utilizando tecnología BPL para la empresa eléctrica S.A.”, ESPOCH, Riobamba

De acuerdo con la ubicación de las subestaciones de distribución en la provincia de Chimborazo para la realización del proyecto, en la primera etapa de generación los aerogeneradores instalados en San Vicente de Tipín transformaran la energía eólica en eléctrica, esta energía será transmitida mediante líneas subterráneas hasta llegar a la subestación más cercana S/E8 Guamote, de esta subestación se distribuirá la energía hacia los usuarios. (YANQUI, 2010, p. 25-38)

3.2 Impactos ambientales

Si bien, al elaborar este proyecto se ha hecho énfasis en los beneficios que tiene la generación de la energía eléctrica por medio de la transformación de la energía eólica, la implementación en si del proyecto presentara cambios en el medio donde se va a implementar el parque eólico, a simple vista se puede decir que energía eólica está relacionada directamente con el recurso aire , pero se debe determinar los efectos que producirá en el resto del recursos existentes en el medio ecológico donde se desarrollara el proyecto.

3.2.1 Flora. En el lugar donde se situara el parque eólico no es un sector agrícola más bien se lo podría considerar una zona desértica pero alrededor existen una cantidad considerable de árboles y plantas los cuales constituyen parte del paisaje. En la siguiente tabla se detalla la flora existente en el sitio.

Tabla 9. Flora del Lugar.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
Chilca blanca	Baccharis riparia	Asteraceae
Verbena	Verbena sp	Verbenaceae
Capulí	Vallerastipularis	Elaeocarpaceae
SigSig	Cortaderia rudioides	Gramineae
Cabuya negra	Foucroya andina	Amaryllidaceae
Mora de monte	Rubus sp	Rosaceae
Ciprés	Cupressus	Cupressaceae
Eucalipto	Eucalyptus	Myrtaceae
Pino	Pinus	Pinaceae

Fuente: Junta parroquial Palmira

3.2.2 Fauna. Tomando en cuenta que el lugar donde se desarrollara el proyecto es una zona desértica, se cuenta con especies propias del tipo de terreno es decir que es escasa la diversidad de especies de importancia en esta zona.

Tabla 10. Fauna del lugar

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
Lagartija	Podarcis. Sp.	Bataguridae
Zorro	Urucyoncinereoargenteus	Cánidos
Petirrojo	Erithacusrubecula	Turdidae
Mirlo	Turdusignibilis	Turdidae
Colibrí	ArchilochusColubris	Troquílidos
Tórtola	Columbidae	Columbiade

Fuente: Junta parroquial Palmira

3.2.3 *Vegetación.* El lugar escogido para la implementación del parque eólico, es una tierra no apta para el cultivo de vegetales, por tratarse de un sector desértico.

3.2.4 *Atmosfera.* Es uno de los factores más susceptibles a sufrir impacto en este tipo de proyectos relacionados a la generación de energía eléctrica pero en este caso , el elemento que se utilizara es el aire el cual no sufrirá ningún cambio al ser utilizado como fuente para la generación y no existe emisiones de gases que puedan afectar la atmosfera.

3.2.5 *Suelo.* Es un tipo de suelo arenoso con un hp acido, con el paso del tiempo y por las características propias se ha ido desgastando convirtiéndose en una zona no apta para el cultivo de vegetales.

3.2.6 *Agua.* Este tipo de proyectos no existe una afectación directa a este factor por lo que no es necesario su análisis.

3.2.7 *Recursos culturales.* Es un factor que está directamente relacionado con la fase de operación del proyecto es decir cuando ya se tiene la producción de energía eléctrica del parque eólico, la influencia positiva y factores negativos que puedan influir en el normal desarrollo de los habitantes de la comunidad.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL MODELO EXPERIMENTAL

4.1 Formulación de los principales métodos de evaluación de los impactos ambientales

La EIA nació por las presiones del público en favor de la protección del ambiente y por algunas preocupaciones de ciertos gobiernos debido al incremento desmesurado de la contaminación en nuestro planeta. Todo esto obligó a los gobiernos a la creación de organismos responsables de asuntos ambientales respaldados por leyes. (U.B.P., 2013)

4.1.1 *Definición de evaluación de impacto ambiental.* La EIA, es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad producirá en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas Competentes. (W.I.H., 2013)

4.2 Análisis de los métodos de evaluación de los impactos ambientales

Actualmente existen un gran número de métodos para la evaluación de impactos ambientales, la mayoría de estos han sido desarrollados para proyectos específicos, limitando el alcance de dichos métodos.

Por esta razón es necesario conocer y analizar en qué consisten los diferentes métodos de evaluación de impacto ambiental y determinar el más adecuado para el proyecto eólico San Vicente de Tipín.

4.2.1 Método cartográfico. Este método está relacionado directamente con la planificación territorial, se los conoce como métodos de transparencia y gráficos. Consisten en la superposición sobre un mapa del área de estudio, convenientemente subdividida de transparencias dedicadas a un factor ambiental e identificado con códigos (colores, números) que indican el grado de impacto previsible de cada subzona del proyecto.

Las limitaciones de este método es principalmente en proyectos donde existen un gran número de impactos en una misma operación. Este método es más utilizado como un medio informativo, especialmente para dar a conocer en reuniones públicas y en actividades de difusión o aclaración de conceptos.

4.2.2 Listas de chequeo, control o verificación. Están relacionadas categorizadas o jerárquicas de factores ambientales a partir de las cuales se identifican los impactos producidos por un proyecto, haciendo énfasis en los elementos del medio que en forma particular son los más afectados por las actividades desarrolladas en el marco del mismo. A pesar de que constituye una forma concisa y organizada de relacionar los impactos, no permiten la identificación de las interrelaciones entre los factores ambientales.

Una de las principales ventajas de este método es que identifica casi todas las áreas de impactos, sin embargo es considerado como un método de identificación cualitativo y es tomado como un análisis previo. La lista de chequeo se puede clasificar como se indica en la Tabla 11.

Tabla 11. Tipos de lista de chequeo de acuerdo a su nivel de desarrollo.

TIPOS	DESCRIPCIÓN
Simple	Analizan factores sin ser valorados ni interpretados.
Descriptivas	Analizan los factores y presentan la información de los efectos sobre el medio.
De verificación y escala	Incluye además de lo anterior una escala de valoración de los efectos ambientales.
De verificación, escala y ponderación	Introduce una relación de ponderación de factores en la escala de valoración.

Fuente: MOLINA, J., TULEDA, L. 2007. Identificación Impactos Significativos

Las listas de chequeo simples y descriptivas son las más utilizadas previo a una evaluación de impactos ambientales EIA. Pueden estructurarse a manera de cuestionario, para lo cual se formula una serie de interrogantes con referencia a posible ocurrencia de impactos sobre los diferentes factores producidos por un determinado proyecto.

En resumen, ambos tipos de listas simples y descriptivas proporcionan un enfoque estructural para la identificación de impactos y factores ambientales. La adecuada adopción y empleo de estas listas condiciona en buena medida el éxito del resultado de la evaluación, ya que corresponde al punto de partida y de la buena elección dependerá el desarrollo secuencial, que conducirá finalmente a la valoración y la formulación del plan de manejo ambiental del proyecto

4.2.3 *Métodos matriciales.* Son técnicas bidimensionales que relación acciones con factores ambientales, también denominadas matrices interactivas causa-efecto. La modalidad más simple de estas matrices muestra las acciones del proyecto en un eje y los factores del medio a lo largo del otro. Cuando se prevé que una actividad va a incidir en un factor ambiental, este se señala en la celda de cruce, describiéndose en términos de su magnitud e importancia.

Uno de los métodos matriciales más conocido es el de la Matriz de Leopold, desarrollado en 1971 para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos de América.

La matriz de Leopold está constituida por 100 columnas en las que se representa las acciones del proyecto y 88 filas con los factores ambientales, produciendo un total de 8800 posibles intersecciones. Por la dificultad de trabajar con un número tan elevado de intersecciones, normalmente se hace matrices reducidas para 100 o 150.

El principio básico del método consiste, inicialmente, en señalar todas las posibles intersecciones entre las acciones y los factores, para luego establecer, en una escala que varía de 1 a 10 la magnitud e importancia de cada impacto ya se haya identificado como negativo o positivo.

La valoración de la Magnitud está relativamente ligada al grado de alteración provocada por la acción sobre el factor medioambiental. Por otra parte la puntuación de la importancia es subjetiva, ya que implica atribución de peso relativo al factor afectado en el ámbito del proyecto.

El establecimiento de estos pasos constituye uno de los puntos más críticos de la Matriz de Leopold dado que no se explica claramente las bases de cálculo de las escalas de puntuaciones de la importancia y de la magnitud.

Otra desventaja de este método es que no se identifica la interrelación entre los impactos, lo que puede llevar a repentinos conteos o a subestimación de los mismos, así como el poco énfasis atribuido a los factores sociales y culturales.

4.2.4 Método de Batelle. Fue desarrollado en el laboratorio Batelle-Columbus, por encargo de la Oficina de reclamaciones del Ministerio del Interior de los Estados Unidos de América, para proyectos hídricos, aplicable tanto a micro como macro proyectos. El método permite la evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto mediante el empleo de indicadores homogéneos.

Se trata probablemente del primer acercamiento serio a la valoración de impactos y ha sido base inspiradora de otras metodologías para su cuantificación, desarrollada posteriormente. Tiene la ventaja de explicar las bases de cálculo de los índices utilizados; es un método jerarquizado, constituido por cuatro categorías ambientales que se desdoblado en 18 componentes, los cuales a su vez se subdividen en 78 parámetros. La determinación del grado por la ecuación o de impacto ambiental viene dada por la ecuación. (MOLINA, y otros, 2007, p. 14-25)

$$UIA = UIP \times QA \quad (15)$$

Dónde:

UIA: Unidad de Impacto Ambiental

UIP: Unidad de Importancia

QA: Índice de Calidad Ambiental

4.2.5 *Matriz de Lázaro Lagos.* Para la evaluación de impactos ambientales se obtuvo a partir de las matrices de Leopold y Ballete –Columbus, todo gracias al ingenio del científico cubano Lázaro Lagos que modificó las mencionadas matrices para transformarse en un método fácil, rápido y sencillo que permite al investigador generar información precisa. (CABALLERO, 2006, p. 14)

La matriz está determinada en primera instancia por los componentes ambientales que están siendo afectados o investigados como: agua, aire, flora y fauna entre otros. Así como las actividades que se realizarán en el proyecto, para posteriormente desembocar en los impactos generados.

4.3 Selección del método más efectivo

Luego de investigar y analizar la teoría existente sobre la evaluación de impactos ambientales, se hace necesario conocer el concepto de términos que a continuación se explica así como los pasos a seguir, una vez escogido el método más adecuado para evaluar el impacto ambiental que se presentaran en la construcción y operación del parque eólico San Vicente de Tipín.

4.3.1 *Impactos y riesgos ambientales.* Se entiende por medio; al espacio donde vive o se desarrolla un organismo y como ambiente al fluido que rodea al organismo, para el análisis del impacto ambiental en el proyecto es recomendable utilizar ambiente.

El impacto ambiental puede ser considerado como un cambio estructural y funcional de los factores ambientales a través del tiempo originado por intervenciones humanas y entre estos se puede tener los siguientes tipos de impactos ambientales:

- Primarios. Que se relaciona con efectos en el ambiente biofísico o socioeconómicos derivados de un proyecto.
- Secundarios.- es un efecto inducido que se desprende de acciones secundarios.
- A corto plazo.-Relacionado con tiempos cortos.
- A largo plazo.- Relacionados con tiempos largos.
- Acumulativos.- Efectos que se suman con el tiempo.
- Inevitables.- Efectos que no se pueden evitar.

- Irreversibles.- Los que no se pueden amortiguarse o controlarse.
- Residuales.- Cuyos efectos perduran en el ambiente.
- Reversibles.- Que son recuperables con tratamiento.

El riesgo ambiental tiene sus orígenes en el estudio de efectos de los contaminantes en la salud humana y aquí se deriva el análisis de riesgo ambiental como una preocupación por determinar los efectos negativos que se producen en la salud derivados a la exposición a distintas sustancias tóxicas.

El riesgo se define como la probabilidad de que una consecuencia adversa suceda u esta puede ser al ecosistema o a la salud humana.

En consecuencia es importante analizar el riesgo ambiental mediante teorías formuladas que predicen los mismos o métodos que fueron explicados anteriormente.

Una evaluación de impacto ambiental suele comprender una serie de pasos:

- Un examen previo para determinar si un proyecto requiere un estudio de impacto ambiental y hasta que nivel de detalle.
- Un estudio preliminar que sirve para identificar los impactos claves, su magnitud, significado e importancia.
- Una determinación de su alcance, para garantizar que EIA se centre en cuestiones claves y determinar donde es necesaria una información más detallada.
- El estudio en si consiste en meticulosas investigaciones para predecir y/o evaluar el impacto ambiental y la propuesta de medidas preventivas, protectoras y correctoras necesarias para eliminar o disminuir los efectos en la actividad en cuestión.

Como se explica en la teoría anteriormente mencionada la Matriz de Lázaro Lagos es una simplificación de dos métodos y nos permite realizar la evaluación de impactos ambientales de una forma sencilla a continuación aplicaremos este método en la detección de los impactos ambientales del proyecto.

4.4 Aplicación del método de evaluación de impacto ambiental en el proyecto eólico “San Vicente de Tipín”

Con el fin de aplicar el método seleccionado para realizar la evaluación del impacto ambiental causado por el proyecto eólico, seguimos los pasos sugeridos anteriormente.

4.4.1 *Valoración cualitativa del impacto ambiental.* El proyecto eólico San Vicente de Tipín nace con la necesidad de presentar una alternativa para la generación de energía eléctrica en base a un elemento abundante en la provincia que es el viento, razón por la cual antes de poner en práctica dicho proyecto se hace necesario un previo estudio que determine los posibles efectos en el medio .

4.4.2 *Efectos del proyecto sobre el medio.* Al llevar a cabo el proyecto de generación eléctrica en base al recurso viento existirán cambios significativos en el medio, como consecuencia se tendrán impactos ambientales, sociales y económicos los cuales serán cuantificados por medio de la matriz de evaluación de impactos ambientales.

El proyecto presentara efectos en el ambiente durante la construcción, operación y mantenimiento del sistema eólico de generación eléctrica. A continuación se presenta algunos de los efectos sobre el medio que se presentaran al implementar el proyecto eólico:

- *Ruido.* Característico en el funcionamiento de los aerogeneradores, como consecuencia se puede tener el repentino alejamiento de las aves del lugar.
- *Degradación de Ecosistema.* Se afectara la zona donde se instalara el parque eólico, debido a la longitud de las aspas de los aerogeneradores y al are de barrido de las mismas se debe considerar para el estudio más o menos una hectárea de terreno expuesto a los efectos.
- *Social.* La construcción y posterior funcionamiento del parque eólico, contribuirá al desarrollo del pueblo brindando puestos de trabajo de esta forma se disminuirá la migración de los habitantes hacia las ciudades más desarrolladas, con otra fuente de generación de energía se incentivará a los usuarios a emprender en micro proyectos industriales.

- *Económico.* La implementación del proyecto motivara al gobierno ecuatoriano a invertir en proyectos de generación de energía con materia prima (viento) abundante y sin costo alguno, de tal forma que la energía generada es barata lo cual ayuda a su fácil comercialización.
- *Ambiental.* El remplazar la generación de energía tradicional que contamina al planeta por una forma de generación limpia es en sí un impacto positivo.

4.5 Diseño de matrices de determinación de impactos ambientales

4.5.1 *Matriz de impactos.* Para iniciar con el análisis de los impactos se utiliza la matriz de causa-efecto, dando más importancia a los efectos más sobresalientes.

A continuación se determina los impactos que estarán presentes en las diferentes actividades a realizarse en las etapas de desarrollo del proyecto eólico.

4.5.1.1 *Identificación de las actividades que pueden causar impactos*

- *Educación ambiental.* Es necesario una capacitación para los habitantes y el personal involucrado con el proyecto, de esta forma se garantiza la protección del ambiente y el mantenimiento del ecosistema.
- *Investigación.* Para realizar el proyecto se debe contar con toda la información relacionada con la instalación, funcionamiento y mantenimiento de los equipos que se encargaran de la transformación de la energía de esta forma se podrá realizar un análisis completo de los efectos que se van a producir.
- *Construcción.* Las obras civiles y mecánicas que son necesarias para la implementación del proyecto causaran impactos ambientales mínimos, puesto que él era a utilizarse comprende el espacio necesario para la cimentación de la torre del aerogenerador y para llevar subterráneamente los cables de transmisión de la energía al sistema interconectado. Razón por la cual el área a utilizarse comprende más o menos unos 1000 m². En este el factor afectado será el suelo por la presencia de los materiales y maquinarias durante la etapa de construcción del parque eólico.
- *Montaje de equipos.* La siguiente etapa del proyecto es el montaje mecánico de los equipos conversores de energía; rotor, sistema de transmisión, sistema de control, cableado eléctrico, torre de sostenimiento causaran impactos provenientes de

ruidos, contaminación del suelo debido a aceites y grasas pero en mínimas cantidades.

- *Operación del Equipo.* Al concluir con el montaje de los equipos se procederá a las pruebas de funcionamiento, el ruido generado por las turbinas superan los 60 dB y por el movimiento del viento al pasar por el rotor se producen vibraciones que pueden afectar el ambiente unos 100 metros de distancia ,a la que se atenúa las turbulencias.
- *Mantenimiento.* El mantenimiento de los equipos serán realizados y programados por la fábrica que garantiza el normal funcionamiento de los equipos, una de las actividades que se realizaran es el recambio de aceite, grasas, lubricación ajuste de elemento y cualquier otra actividad que se presente en la operación del parque eólico.
- *Reforestación.* La reforestación se la realizara mediante nuevas siembras y cultivos de especies nativas esto se llevara a cabo con un proyecto específico de mejoramiento del suelo. Esta actividad ayudara al balance del ecosistema lo cual producirá un impacto positivo para las especies y el paisaje del lugar. (SANTILLÁN, 2005, p. 20-23)

4.5.1.2 *Identificación de factores ambientales del entorno susceptibles a recibir impactos*

- *Aire.* Es uno de los factores más susceptibles en el desarrollo de proyectos energéticos, pero en este caso el aire es el encargado de producir el movimiento al pasar por los aerogeneradores, esta actividad no modifica en nada su estructura química.
- *Suelo.* El lugar donde se establecerá el proyecto, está formado por un suelo erosionado pero el espacio de cimentación no es muy considerable pues y se tratara de rodear con plantas ornamentales el sitio.
- *Agua.* El agua es un elemento que no resulta afectado pues no está en contacto directo, por esta razón no existe impacto sobre este elemento.
- *Flora y Fauna.* Como se explicó anteriormente se trata de un lugar donde no es apto para el cultivo de vegetales, no se cuenta con una gran variedad de especies las cuales cuando el proyecto se encuentre en su etapa de operación migraran para su protección a lugares aledaños.

- *Socioeconómico.* Este factor está relacionado directamente con la población existente en el lugar, al ser un proyecto de generación de energía alternativa ayudara al desarrollo económico al generar energía a menor costo e implementara el turismo en el sitio. Los impactos producidos en este factor son totalmente positivos pues mejorara la condición actual de loa habitantes.

4.5.1.3 Construcción de la matriz. Luego de terminar la metodología para evaluar los impactos ambientales se procede a construir la matriz de impactos y cuantificar los mismos para determinar los impactos positivos y negativos.

4.5.2 Elaboración del estudio de impacto ambiental. Mediante la técnica de Lázaro Lagos se determinó el nivel de impacto ambiental ocasionado por la implementación del parque eólico en la comunidad de San Vicente de Tipín, analizando, las variables: suelo, agua, aire, flora, fauna, otros, siendo los parámetros para la evaluación:

- Naturaleza.* Dependiendo si el impacto es positivo se marcará con un signo (+) o de lo contrario de ser negativo se marcará con (-)
- Magnitud.* La magnitud se determina a través de tres rangos:
 - 1 Baja intensidad
 - 2 Moderada intensidad
 - 3 Alta intensidad.
- Importancia.* Se determina a través de cuatro rangos de evaluación:
 - 0 Sin importancia
 - 1 Menor importancia
 - 2 Moderada importancia
 - 3 Mayor importancia
- Certeza.* Se determina a través de tres rangos definidos con letras:
 - C Si el impacto ocurrirá con una probabilidad del 75%
 - D Si el impacto ocurrirá con una probabilidad de entre 50 a 75%
 - I Si se requiere de estudios específicos para evaluar la certeza del impacto.

- e.** *Tipo.* Se define a través de:
- (Pr)** *Primario.* Si el impacto es consecuencia directa de la implementación del proyecto
 - (Sc)** *Secundario.* Si el impacto es consecuencia indirecta de la implementación del proyecto
 - (Ac)** *Acumulativo.* Si el impacto es consecuencia de impactos individuales repetitivos.
- f.** *Reversibilidad.* Puede ser de dos tipos:
- 1** *Reversible.* Si el impacto es transformable por mecanismos naturales
 - 2** *Irreversible.* Si el impacto no es transformable por mecanismos naturales
- g.** *Duración.* Se determina a través del tiempo en:
- 1** *A corto plazo.* Si el impacto permanece menos de 1 año
 - 2** *A mediano plazo.* Si el impacto permanece entre de 1 a 10 años
 - 3** *A largo plazo.* Si el impacto permanece más de 10 años
- h.** *Tiempo en aparecer.* Determinado también por el tiempo se clasifica en:
- C** *Corto plazo.* Si el impacto aparece inmediatamente o dentro de los primeros seis meses posteriores a la implementación del proyecto.
 - M** *Mediano plazo.* Si el impacto aparece entre 9 meses a 5 años después de la implementación del proyecto.
 - L** *Largo plazo.* Si el impacto aparece en 5 años o más a la implementación del proyecto.
- i.** *Considerado en el proyecto.* Se define por las alternativas:
- S** *Si.* Si el impacto fue considerado en el proyecto
 - N** *No.* Si el impacto no fue considerado en el proyecto

Las matrices se presentan a continuación:

Tabla 12. Matriz de evaluación de impactos en la zona de influencia San Vicente de Tipín

COMPONENTES AMBIENTALES	ACTIVIDADES								CRITERIOS DE EVALUACIÓN									
	1. Llegada de visitantes	2. Educación ambiental	3. Investigación	4. Construcciones	5. Montaje de equipos	6. Operación	7. Mantenimiento	8. Reforestación	Naturaleza	Magnitud	Importancia	Certeza	Tipo	Reversibilidad	Duración	Tiempo en aparecer	Considerado en el proyecto	Ponderación
A. AIRE	x		x	x	x	x		x	Mejoramiento de la calidad	2	3	C	Pr	2	3	C	S	11
				x	x				Emisión de ruido	1	1	D	Pr	2	3	C	S	6
				x					Rasanteo	1	1	D	Pr	2	1	C	N	4
B. SUELO	x			x	x	x			Compactación	1	1	D	Pr	2	1	C	N	4
			x					x	Recuperación	1	2	C	Pr	2	2	M	N	6
				x	x				Cambios en la composición físico-química	1	1	D	Pr	2	1	C	N	4
	x			x	x				Incremento de desechos sólidos	1	1	D	Pr	1	3	M	N	5
	x			x	x				Aumento de la erosión	1	2	C	Pr	2	1	L	N	5
				x		x			Aumento de sólidos en suspensión	1	1	D	Pr	2	1	L	N	4
C. AGUA				x					Alteración físico-químico	1	1	D	Pr	2	1	M	N	4
				x					Alteración microbiológica	1	1	D	Pr	2	1	M	N	4
	x			x	x			x	Aumento en el consumo	1	1	D	Pr	2	1	M	N	4
									Emisión de malos olores	1	1	D	Pr	2	1	L	N	4
				x					Arrastre de sedimentos	1	1	D	Pr	2	1	L	N	4

Tabla 13. Matriz de cuantificación del proyecto eólico San Vicente de Tipín

COMPONENTES AMBIENTALES	ACTIVIDADES								TOTAL (+)	TOTAL (-)	TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8			
A	-6		+11	-6	-6	-6	+11	8	22	24	46
B	-4 -5 -5		+6	-4 -4 -4 -5 -5	-4 -4 -5 -5	-4	-4 -5 -5	+6	12	72	84
C	-4 -4			-4 -4 -4 -4 -4	-4	-4	-4 -4 -4 -4 -4	-4		60	60
D			+14	-4 -5	-4 -5	-4	-4	+14 +14 +14	56	26	82
E	+14 +11 +14 +14 +14 +14	14+11+14 14+14+14	11+14+14	+11	+11	+14 +14 +11 +14 +14 +14 +14 +14	+11	14 +11 +11 +14 +14 14 +14	435		435
TOTAL (+)	81	81	70	11	11	109	11	151	525		
TOTAL (-)	28			57	37	18	38	4		182	
TOTAL	109	81	70	68	48	127	49	155			707

Fuente: Autora

4.6 Resultados del diseño de matrices de mitigación de impactos negativos

En las mismas se observan que el proyecto tiene un impacto positivo (525) es decir que la implementación del proyecto ocasiona efectos positivos al entorno, reflejado en un mejoramiento en la calidad de vida, del ambiente, y económico lo que nos permite considerar al proyecto como una base del desarrollo sustentable de la zona.

Los efectos positivos están dados especialmente en los componentes aire, agua y socioeconómico. Como se puede visualizar en los valores totalizados de los mismos (+).

Los componentes ambientales afectados son la flora, la fauna y el suelo que en términos porcentuales no representan más del 20% de los impactos ambientales, además que son fácilmente remediabiles como denotaremos en las medidas de mitigación.

Posteriormente se debe determinar el sistema de mitigación más adecuado dependiendo del estado de conservación y del medio ambiente en general

4.7 Medidas de mitigación

- *Reordenamiento del uso de recurso energético.* En la implementación de este tipo de proyectos, se produce energía de una forma limpia es decir que en la operación del parque eólico la contaminación por la transformación del viento en energía eléctrica es mínima. Lo más resaltante del proyecto es que en la transformación de energía no existe cambios en el aire y en la atmosfera, con el estudio se pretende incentivar a la implementación de proyectos energéticos que no causen daños al medio ambiente.
- *Medidas de control de ambiental: ruido, suelo.* Cuando el parque eólico entra en operación se presentan los impactos negativos es decir, se presenta un ruido característico del funcionamiento de los aerogeneradores que de acuerdo con los fabricantes no supera el nivel de sonido permitido para los humanos que es de 60 decibeles. En la instalación del equipo y en la construcción civil mecánica y mantenimiento se tiene la presencia de contaminantes que pueden alterar el suelo donde se desarrolla los trabajos antes mencionados, por este motivo se recomienda

la implementación de espacios verdes, que pueden ser implementados alrededor del parque eólico.

- *Recolección ordenada de residuos sólidos.* Producto de las actividades que se llevaran a cabo, durante y después de la puesta en marcha del proyecto eólico se tendrá la presencia de desperdicios, los cuales deben ser recolectados de acuerdo al tipo de desperdicio y en el caso del material sobrante será retirado del sitio.
- *Cultura ambiental.* Es necesario capacitar a los habitantes de la comunidad cercana sobre el correcto manejo de los recursos existentes aire, agua suelo flora y fauna, mediante talleres que den a conocer sobre técnicas ambientales.
- *Monitoreo constante del proyecto.* En todas las etapas del proyecto se necesita tener un monitoreo continuo, de los factores de impacto que se lo realizara por medio de la matriz de impactos, dando mayor importancias a un control más intenso durante el mantenimiento y operación del equipo.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

Es necesario el estudio económico para poder determinar si la realización del proyecto resulta conveniente de acuerdo con los recursos disponibles.

El mercado de las energías renovables ha crecido fuertemente desde el año 2008, siendo la energía eólica la de mayor crecimiento. La energía eólica ha crecido en un 29 %, el mercado principal fue el estadounidense 8,4 GW de generación eólica, seguido por China con un 6,3 GW, India 1,8 GW y Alemania con 1,7 GW. En la actualidad el continente europeo está plagado con aerogeneradores que remplazan un importante porcentaje de la demanda eléctrica.

En Ecuador el desarrollo de la energía eólica se la conserva en forma de investigación, por el desconocimiento de la tecnología, mantenimiento de los aerogeneradores, la instalación de los parques eólicos en el Ecuador son mínimos.

5.1 Costos directos

Los costos directos, son los relacionados netamente con el proyecto es decir con la instalación y operación de parque eólico. También se incluye para el análisis los costos de aerogeneración en el país, disponibilidad del recurso viento, la localización y financiamiento.

Hoy en día la industria eólica ha superado la etapa de iniciación en el mercado, explotándose de forma industrial, con fiabilidad técnica, rentabilidad económica e impactos ambientales de poco significado.

Las actuales máquinas en serie tienen elevadas potencias lo cual permite a los parques eólicos alcanzar potencias totales importantes en producción con niveles relevantes.

5.1.1 Evolución de los costos de energía eólica. La evolución implica el encontrar equipos que nos ayuden a captar la mayor cantidad de energía del viento y lograr mayor confiabilidad de los sistemas generadores para entregar la energía a los clientes en un costo competitivo. Para el año 1980 el costo de generación eólica se encontraba en 35 centavos de dólar por KW/hora hasta llegar a los 6,7 y 10 centavos de dólar en la actualidad.

Tabla 14. Costos de las diferentes fuentes de energía

CENTRALES	COSTO ESPECIFICO (USD KW/h)	
	Territorio continental	Territorio insular de Galápagos
Eólicas	9.13	10.04
Fotovoltaicas	40.03	44.03
Solar termoeléctrica	31.02	34.12
Corrientes marinas	44.77	49.25
Geotérmicas	13.21	14.53
Biomasa y biogás	11.05	14.53

Fuente: CONELEC, Regulación 004/11

5.1.2 Costos actuales de generación eólica. Los costos actuales de generación eólica a nivel internacional son variables y más cuando se trata importación de equipos energéticos, pues la fabricación se la realiza en países desarrollados en diferentes partes del mundo, es por eso que existe gran diferencia entre los costos de equipos europeos y norteamericana. En la Tabla 15 se muestra el desglose de costos.

Tabla 15. Porcentaje costos proyecto eólico San Vicente de Tipín.

CONCEPTO	Porcentaje del costo inicial
Turbinas	49 %
Construcción (civil y mecánica)	22 %
Torre	10 %
Intereses durante la construcción	4 %
Conexión a la subestación	4 %
Actividades desarrolladas	4 %
Cuotas legales y de financiamiento	3 %
Diseño de ingeniería	2 %
Transportación terrestre	2 %

Fuente: BORJA, M. 2009. Tesis “Diseño de un sistema alternativo de producción de energía en la zona turística de Chachimbiro”, ESPOCH, Riobamba

5.1.3 Estudios de costo de generación eólica en el Ecuador. El Ecuador al momento no cuenta con la tecnología adecuada para construir turbinas eólicas, por lo cual se hace necesaria la importación de equipos. En el Ecuador actualmente se encuentran turbinas instaladas y en funcionamiento, tal es el caso del parque eólico de Galápagos con 2 MW y Montecristi con 800 KW, equipos con tecnología extranjera.

La instalación de un proyecto eólico depende directamente del conocimiento tecnológico de aerogeneradores así como su mantenimiento y manipulación.

A continuación se presentan la siguiente tabla con valores cuantitativos de los costos de instalación de un proyecto eólico en el país.

Para determinar los costos directos de la instalación del parque eólico se toma como referencia el costos de KW instalado que se estima entre los 2000- 3000 USD /KW.

El parque eólico San Vicente de Tipín generara 2.05MW si se toma 2500 USD/KW se tiene un costo de energía instalada de: 5125000USD de acuerdo con la Tabla 2 se tiene:

Tabla 16. Costos directos proyecto eólico San Vicente de Tipín.

Concepto	Costo USD
Turbinas	2511250,00
Construcción (civil y mecánica)	1127500,00
Torre	512500,00
Intereses durante la construcción	205000,00
Actividades desarrolladas	205000,00
Cuotas legales y de financiamiento	153750,00
Diseño de ingeniería	102500,00
Transportación terrestre	102500,00
Total	5125000,00

Fuente: Autora

5.2 Costos indirectos

Los costos indirectos están compuestos, por todos aquellos gastos que intervienen en la elaboración del presente escrito es decir la recolección de los datos del lugar donde se instalara el proyecto, investigación de la teoría necesaria e impresiones del presente texto.

Tabla 17. Costos indirectos proyecto eólico San Vicente de Tipín.

Concepto	Costo USD
Transportación (toma de datos)	150,00
Investigación	500,00
Impresión y grabación del texto.	100,00
Total	750,00

Fuente: Autora

5.3 Costos totales

Los costos totales de la implementación del proyecto eólico en la comunidad de San Vicente de Tipín se determinan a continuación.

$$\text{CostoT} = \text{CostosD} + \text{CostosI} = 5125000 + 750 = 5125750,00 \text{ USD} \quad (16)$$

A este valor se le debe agregar un porcentaje por caso de imprevistos, por esta razón se considera una inversión de 5125750,00 USD.

5.4 Rentabilidad

Para analizar los costos de instalaciones de una pequeña central de generación eléctrica en base a la energía eólica. La siguiente tabla comparativa indica los costos promedios por KW instalado de las diferentes tipos de energías renovables, los costos indicados corresponden a valores promedios a nivel mundial.

Tabla 18. Costos totales proyecto eólico San Vicente de Tipín.

TIPO DE CENTRAL	COSTO KW INSTALADO USD/KW
PEQUEÑA HIDRO.	1800-2300
BIOMASA	1700-200
FOTOVOLTAICA	5000-10000
EÓLICA	1500- 3000
GEOTÉRMICA	3500-3700
MAREOMOTRIZ	2000-2500

Fuente: The Environmental Costs of Electricity, Pace University Center for Environmental Legal Studies.

Tomando en cuenta los costos que implica la instalación de 1 KW, se ha determinado un precio de remuneración para cada una de las energías renovables. Este precio se lo ha calculado de tal manera que se recupera la inversión, cubra los costos de operación y

mantenimiento y además se obtenga una rentabilidad. La inversión en energía eléctrica con energía de viento es rentable tomando en cuenta, puesto que el KW-h en la actualidad está en el orden de 6 a 9 centavos.

5.4.1 *Análisis de fiabilidad.* Es necesario considerar la vida útil del equipo, es decir el tiempo en el que el aerogenerador trabajara en condiciones óptimas sin presentar problemas que disminuyan la potencia generada por el parque eólico. En general un aerogenerador es un equipo que tiene una vida útil de 20 años de funcionamiento.

5.4.2 *Recuperación de la inversión.* La tasa interna de retorno la determinamos a continuación.

$$Recuperación = \frac{Inversión}{Beneficio} \quad (17)$$

Para determinar la inversión que implica la instalación y operación del proyecto eólico de acuerdo con el desglose de costos y el beneficio que ese entra al vender la energía generada al SIN, se realiza una tabla donde podemos observar las inversiones y beneficios.

Inversión de acuerdo con el cálculo de costos realizados anteriormente la inversión total en la instalación del proyecto es de 5125750,00 USD.

Beneficio considerando la generación anual de 2.05 MW de acuerdo con la turbina seleccionada y tomando en cuenta que en el año se detendrá la producción un día al mes por mantenimiento se tiene un beneficio de:

$$\begin{aligned} Generación\ eléctrica\ anual &= \frac{335\text{días}}{\text{año}} * \frac{24\text{h}}{\text{día}} * 2050\text{ Kw} \\ &= 16482000,00\text{ Kwh/año} \end{aligned} \quad (18)$$

$$Ingresos = 16482000\text{ Kwh/año} * 0.09\text{USD/ Kwh} = 1483380\text{ USD/año} \quad (19)$$

$$Tiempo = \frac{5125750USD}{1483380USD/año} = 3.45 \text{ años} \quad (20)$$

5.4.3 Flujo neto efectivo. Este valor nos ayuda en la evaluación económica de un proyecto, para lo cual se consideran los ingresos, costos totales proyectados para 5 años con un crecimiento inflacionario del 4%.

Para el flujo neto efectivo también se ha considerado el costo que se genera anualmente debido al mantenimiento periódico que se debe realizar al equipo.

Tabla 19. Flujo neto efectivo.

DETALLE	+ Ingresos	- Inversión	Mantenimiento	FNE
INICIO		5125750		-5125750
AÑO 1	1483380		-150	-3642520
AÑO 2	1542715		-156	-209996
AÑO 3	1604423		-162	1394265
AÑO 4	1668599		-168	1560956
AÑO 5	1735342		-174	3296124
AÑO 6	1804755		-180	5100699
AÑO 7	1876945		-187	6977457
AÑO 8	1952022		-194	8929285
AÑO 9	2030102		-201	10959186
AÑO 10	2111306		-209	13070283

Fuente: Autora

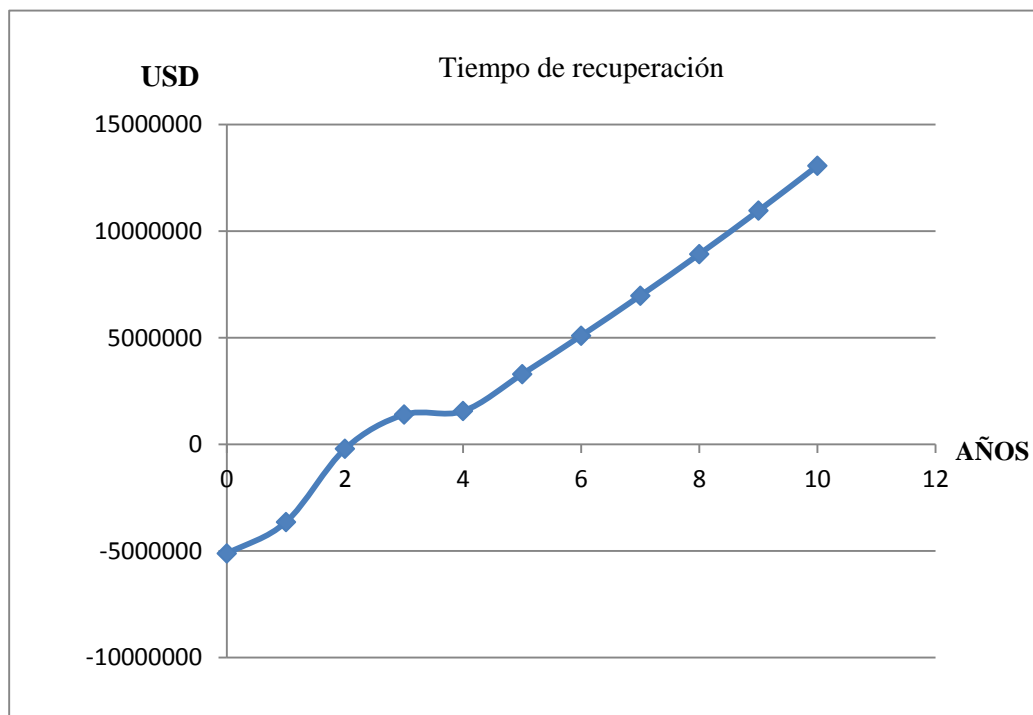
El proyecto eólico tiene un tiempo de recuperación de capital invertido en tres años, se puede apreciar a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 20. Tabla de ingresos

Año	Ingresos	FEN
0	-5125750	- 5125750
1	1483380	- 3642520
2	1542715	- 209996
3	1604423	1394265
4	1668599	1560956
5	1735342	3296124
6	1804755	5100699
7	1876945	6977457
8	1952022	8929285
9	2030102	10959186
10	2111306	13070283

Fuente: Autora

Figura 13. Tiempo de recuperación



Fuente: Autora

Para un mejor análisis se tiene como referencia algunos ejemplos, de proyectos eólicos que se han instalados en nuestro país como un ejemplo se tiene el parque eólico San Cristóbal – Galápagos con las siguientes características:

- Isla San Cristóbal - Galápagos
- Parque Eólico: Cerro Tropezón
- Potencia instalada: 2.4 MW (3 x 800 KW)
- Torres: 51.5 m altura
- Palas (aspas): 59 m diámetro

Con estas consideraciones, el costo final del parque eólico exclusivamente fue de US\$ 6,7 millones, mientras que, el valor adicional de US\$ 3,3 millones, es el costo de todas las obras, trabajos y rubros adicionales anteriormente detallados. Por lo tanto, el costo unitario solamente del parque eólico de San Cristóbal de 2 400 kW fue de US\$ 2 800 / KW.

El objetivo fundamental del sistema eólico San Cristóbal es la reducción del consumo de diésel para preservar este Patrimonio Natural de la Humanidad. No se trata, por lo tanto, de un proyecto eólico convencional. Desde su concepción, se conocía que una de las barreras a superar sería su costo debido a sus peculiares condiciones. De ahí que su financiamiento fue factible solamente gracias a la donación de recursos en un alto porcentaje.

El proyecto eólico San Cristóbal lleva 4 años de funcionamiento sin ningún inconveniente, la inversión económica que represento la puesta en marcha del proyecto si bien no se ha recuperado, puede ser considerado factible en cuanto al aspecto ambiental.

El proyecto eólico San Vicente de Tipín, de acuerdo con los costos es factible, pues la inversión se recupera en 4 años, a partir de este año el proyecto genera ganancias y con el estudio de impacto ambiental se determina que el proyecto eólico no afecta al medio ambiente.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La comunidad de San Vicente de Tipín perteneciente a la parroquia de Palmira en el Cantón Guamote, provincia de Chimborazo, fue considerada para el presente estudio al encontrarse en una zona geográficamente privilegiada al tener en abundancia el elemento principal para la implementación proyectos eólicos el viento.

En la visita técnica se determina que el lugar escogido es adecuado al encontrarse cerca del Sistema Nacional interconectado, tener vías de acceso directas lo cual facilita la implementación del proyecto.

En el análisis técnico y prospección eólico se determinan que el lugar es adecuado por ser una zona donde se presentan vientos de gran intensidad, como se demuestra al cuantificar el potencial eólico, se tienen velocidades promedios que van desde los 7.45m/s a 10 metros de altura y 14m/s a 70 metros de altura sobre el suelo, velocidades compatibles con los equipos de generación existentes en el mercado internacional.

Luego de tomar los datos necesarios se realiza los cálculos, para seleccionar el sistema de conversión de la energía del viento, con las siguientes características técnicas 1 aerogenerador Repower Systems MM82, de 2050KW, diámetro del rotor 82metros, tripala altura del buje 69 metros que proporciona 16482000 KW-h/año.

La operación del proyecto genera una potencia significativa de 16482000KW-h/año. la misma que se puede cuantificar a un costo de 9 centavos de dólar KW/hora lo que producirá un ingreso anual de 1483380 USD/año, esta cifra nos permite recuperar el capital invertido en 3 años a partir de los cuales generaría ingresos directos para la comunidad.

La generación de energía eléctrica utilizando energías alternativas tiene como ventaja el no necesitar de recursos económicos para la remediación del medio y no la materia prima (viento) no presenta ningún costo en comparación con la generación de energía con medios convencionales.

Luego de investigar los diferentes métodos para evaluar los impactos ambientales, se determinó que dentro de los métodos matriciales el de Lázaro Lagos es la más indicada al darnos valores cuantificables que nos ayudan a determinar la influencia positiva o negativa de la implementación del parque eólico en la comunidad.

Luego de desarrollar la matriz de impactos ambientales de Lázaro Lagos se determina un impacto positivo de 525 lo cual nos indica que el proyecto contribuye a un mejoramiento en la calidad de vida, en el ambiente y en la economía.

Se plantea métodos de mitigación para los impactos negativos que aunque no son significativos deben ser tomados en cuenta, reordenamiento del uso de recurso energético, medidas de control de ambiental (ruido, suelo), recolección ordenada de residuos sólido, cultura ambiental y monitoreo constante del proyecto son las medidas que nos ayudaran a reducir las consecuencias de los impactos negativos dados por la instalación y operación del parque eólico.

6.2 Recomendaciones

Implementar del proyecto por ser una alternativa diferente en cuanto a la generación de energía, pues utiliza como materia prima el recurso renovable viento.

Difundir las ventajas del proyecto, para incentivar al ministerio a cargo de la generación de energía alternativa llevar a cabo proyectos como estos y buscar el financiamiento.

Analizar la posibilidad de que las partes del aerogenerador (álabes, estructura), se puedan diseñar y construir en nuestro país y de esta forma reducir el costo de importación del aerogenerador.

Promover que los proyectos deben contar con su estudio de impacto ambiental, para determinar cuan factible es de acuerdo con el ámbito ecológico y por tratarse de un requisito para ser implementado y financiado por el gobierno.

Desarrollar más temas de este tipo, para que nuestro país evolucione igual que el resto del mundo en cuanto a tecnología y de esta forma aprovechar la capacidad intelectual de los futuros profesionales.

BIBLIOGRAFÍA

A. M. V, 2013. Adurcal Adurcal [En línea] 06 de 04 de 2013. [Citado el: 06 de 04 de 2013] <http://www.adurcal.com/mancomunidad/vialidad/59.htm>.

BORJA, M. 2009. *Diseño de un sistema alternativo de producción de energía en la zona turística de Chachimbiro*, Tesis de grado – Riobamba- Ecuador 2009.

CABALLERO, V. 2006. *Practicas Pre-profesionales II Diagnostico ambiental de las Lagunas del Centro de Recursos Tecnológicos “Fatima” provincia de Pastaza*. Riobamba: s.n., 2006.

C. S. L., 2013. Coca Sinclair Licitación. [En línea] 06 de 04 de 2013. [Citado el: 06 de 04 de 2012] <http://www.cocasinclair.com/web/cocasinclair/licitación>.

ESPONDA, H. 2003. *Energía eólica en Mar de plata* -Tesis de grado-Argentina 2003.

GARCÍA, C y HERNÁNDEZ, I. 2004. *Operación Energías Alternativas*. España: s.n., 2004.

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. 2013. *Atlas Eólico del Ecuador*. Quito : s.n., 2013.

MOLINA, J y TULEDA, L. 2007. *Identificación Impactos significativos*. España: s.n., 2007.

MORAGUES, J y RAPALLINI, A. 2003. *Energía eólica- Instituto Argentino de Energía*. Buenos Aires-Argentina: s.n., 2003.

N. F. A, 2013 Nuticexpo. *Nuticexpo*. [En línea] 06 de 04 de 2013 [Citado el: 06 de 04 de 2013] <http://www.nauticexpo.es//fabricante-barco/anemómetro-digital23608.htm>.

SANTILLÁN, Rodolfo. 2000. *Fuentes alternas de energía*. Riobamba : s.n., 2000.

SANTILLÁN, Rodolfo. 2005. *Tecnología y Medio ambiente*. Riobamba : s.n., 2005.

SANTILLÁN CHICA, R. 2006. *Estudio de prospección para la implementación de sistemas de autogeneración en la provincia de Chimborazo*. Riobamba : s.n., 2006.

U. M. M, 2013 Uploads. *Uploads*. [En línea] 06 de 04 de 2013 [Citado el: 06 de 04 de 2013] <http://uploads/2013/05/Manual Molinos-Versión-3l WEB.pdf>

W. E. H, 2013 Wikipedia *Wikipedia*. [En línea] 06 de 04 de 2013 [Citado el: 06 de 04 de 2013] http://es.wikipedia.org/wiki/Evaluación%20de_impacto_ambienta#Historia.

W. E. I, 2013 Wikipedia *Wikipedia*. [En línea] 06 de 04 de 2013 [Citado el: 06 de 04 de 2013] http://es.wikipedia.org/wiki/Evaluación%20de_impacto_ambienta

YANQUI, V. 2010. *Estudio y diseño de una red de telemedición utilizando tecnología BPL para la empresa eléctrica S.A.* Tesis de grado ESPOCH 2010.