

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA PARROQUIA EL
SAGRARIO PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL
SECTOR RESIDENCIAL

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A EN
ENERGÍAS RENOVABLES

AUTOR:

CADENA CHANDI JOHNNY DAVID

DIRECTOR:

Ing. Juan Fernando Guamán Tabango, MSc.

2023

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

REPÚBLICA DEL ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
ACREDITADA RESOLUCIÓN N° 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 8 de mayo de 2023

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA PARROQUIA EL SAGRARIO PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL”**, de autoría del señor **JOHNNY DAVID CADENA CHANDI** estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Juan F. Guamán
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Luis H. Álvarez
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Juan P. Romero
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica Del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003798848		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cadena Chandi Johnny David		
DIRECCIÓN:	Colinas del sur		
EMAIL:	jdcadenacutn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2 631-273	TELÉFONO MÓVIL:	0968150816

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA PARROQUIA EL SAGRARIO PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL
AUTOR (ES):	Cadena Chandi Johnny David
FECHA: DD/MM/AAAA	2 de mayo de 2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Energías Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Juan Fernando Guamán Tabango.

2. CONSTANCIAS

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad del contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 16 días del mes de mayo de 2023.

EL AUTOR:



.....
Cadena Chandi Johnny David
1003798848

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por otorgarme vida, salud y la familia más maravillosa para poder conseguir la culminación de mi carrera universitaria y ser mi guía durante todas las etapas vividas hasta el presente.

A mis padres, en especial a mi madre por otorgarme la vida y de llenarme de educación y valores únicos, además de creer en mí durante todos los momentos y ser pilar fundamental durante el trascurso de mi vida con sus consejos y su amor.

A mi familia, por los consejos y enseñanzas brindadas. Por su cariño y además por su apoyo en cada una de las dificultades que eh vivido.

A el Ing. Juan Guamán, director del trabajo de titulación por su apoyo durante toda mi formación académica y también a Luis Álvarez y Jorge Granja, Ingenieros asesores que supieron brindarme sus conocimientos y ayudas en el trascurso de mi vida académica en la universidad.

A la Universidad Técnica del Norte por mi continua formación profesional y académica.

DEDICATORIA

Se la dedico al creador de mi vida y mis metas, a mi padre celestial, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo. Al creador, de mis padres y de las personas que más amo. Con mi más sincero amor.

Para mi madre, Elvia Chandi, por apoyarme durante toda mi vida y por ser mi principal impulso para conseguir este logro tan enorme. Con todo mi amor.

A mi Familia y a mi padre por su preocupación y por estar apoyándome.

Para todos mis amigos, por lograr una amistad tan intangible y por los momentos tan inolvidables que transcurrieron durante nuestra formación profesional.

Índice de Contenido

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	iii
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas	xi
Índice de anexos.....	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
Capítulo I	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	7
1.3 Justificación	8
1.4 Pregunta Directriz	9
1.5 Objetivos.....	9
1.6 Hipótesis	9
1.7 Marco Legal.....	9
1.7.1 Constitución de la República del Ecuador	9
1.7.2 Objetivos Plan Nacional de desarrollo.....	10
Capítulo II.....	11
Marco Teórico.....	11
2.1 Ubicación Geográfica	11
2.2 Energía Eléctrica.....	11
2.3 Energías Renovables.....	12
2.4 Energía eólica.....	12
2.5 El viento.....	12
2.5.1 Energía cinética.....	13
2.6 Aerogeneradores	14
2.6.1 Aerogenerador de eje vertical	14
2.6.2 Aerogenerador de eje horizontal.....	15

CAPÍTULO III.....	16
METODOLOGIA	16
3.1 Área de estudio	16
3.2 Evaluación del potencial eólico	16
3.2.1 Toma de datos	17
3.2.2 Obstáculos cercanos en la localidad	18
3.2.3 Técnica de medición	18
3.2.4 Tratamiento de datos.....	19
3.2.5 Prueba de normalidad	20
3.3 Diseño de sistema de generación eléctrica.....	22
3.3.1 Calculo de la velocidad a distintas alturas	22
3.3.2 Cálculo de la potencia.....	23
3.4 Cuantificación de la cantidad de generación de energía eléctrica.	24
3.4.1 Consumo eléctrico	24
3.4.2 Aparatos electrónicos.....	24
3.4.3 Producción de energía eléctrica de la micro red.	25
CAPITULO IV.....	26
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Evaluación del potencial eólico	26
4.1.1 Pruebas paramétricas en Infostat	26
4.1.2 Cálculo de la velocidad a diferentes alturas.....	27
4.2 Diseño de sistema de generación eléctrica.....	27
4.2.1 Potencia en base a la velocidad del viento.....	27
4.2.2 Selección de puntos a 100m de altura.....	28
4.2.3 Selección de puntos a 57m de altura	34
4.2.4 Selección de puntos a 15m de altura	40
4.5 Cuantificación de la energía producida por la micro red.....	46
4.5.1 Análisis económico de la micro red eléctrica	46
4.5.2 Análisis de la viabilidad económica de las micro redes eólicas asistidas.	47
4.5.3 Análisis de viabilidad económica de la micro red eólica.....	50
CAPITULO V	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54

1. Conclusiones	54
2. Recomendaciones	55
Bibliografía	56
ANEXOS	59

Índice de figuras

Figura 1 Parroquias Urbanas de Ibarra. El Sagrario (Punto 2)	3
Figura 2 Parque Eólico Onshore en Noruega	4
Figura 3 Parque Eólico Offshore ubicado en Holanda	4
Figura 4 Ráfagas causadas por obstáculos en el terreno	7
Figura 5 Localización geográfica de Ibarra.....	11
Figura 6 Delimitación de la Parroquia El Sagrario.....	16
Figura 7 Cuadro de relación entre el aumento de velocidad a diferentes alturas	17
Figura 8 Turbulencias causadas por obstáculos	18
Figura 9 Cuadro demostrativo del tiempo de descarga de datos en base a la velocidad del viento	19
Figura 10 Representación de dirección y velocidad del viento	19
Figura 11 Rremediación de datos dos minutarios a horarios	20
Figura 12 Velocidad promedio durante el año 2021	21
Figura 13 Rosa de vientos. Datos del año 2021	21
Figura 14 Clases y longitudes de rugosidades.....	22
Figura 15 Ingreso de fórmula de cálculo de velocidad a diferentes alturas en Matlab	23
Figura 16 Ingreso de fórmula sobre cálculo de potencia en Matlab.....	23
Figura 17 Cuadro estadístico sobre consumo energético del hogar evaluado.....	24
Figura 17 Modelo estadístico de pruebas paramétricas realizado en Infostat.....	26
Figura 18 Modelo matemático en función de las diferentes alturas	27
Figura 19 Potencia en función de las alturas	28
Figura 20 Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021	28
Figura 22 Histograma de frecuencia Relativa.....	31
Figura 23 Curva de duración del viento a 100m de altura.....	31
Figura 24 Histograma de la frecuencia relativa acumulada.....	32
Figura 25 Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021	34
Figura 26 Curva de duración del viento a 57m de altura.....	37
Figura 27 Histograma de frecuencia relativa.....	37
Figura 28 Frecuencia relativa acumulada.....	38
Figura 29 Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021	40
Figura 30 Curva de relación del viento a 15m de altura.....	43
Figura 31 Histograma de frecuencia relativa.....	43

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Análisis de la varianza</i>	20
Tabla 2 <i>Cuadro de cargas eléctricas de la vivienda y su potencia</i>	25
Tabla 3 <i>Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 100m</i>	29
Tabla 4 <i>Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados</i>	30
Tabla 5 <i>Resultado del ajuste por mínimos cuadrados</i>	30
Tabla 6 <i>Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario</i>	32
Tabla 7 <i>Producción diaria de aerogenerador AtlasX</i>	33
Tabla 8 <i>Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía</i>	33
Tabla 9 <i>Equipos para la instalación eléctrica de la micro red eólica</i>	34
Tabla 10 <i>Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 57m</i>	35
Tabla 11 <i>Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados</i>	36
Tabla 12 <i>Resultado del ajuste por mínimos cuadrados</i>	36
Tabla 13 <i>Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario</i>	38
Tabla 14 <i>Producción diaria de aerogenerador ENAIR 70PRO</i>	39
Tabla 15 <i>Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía</i>	39
Tabla 16 <i>Equipos para instalación eléctrica de la micro red eólica</i>	40
Tabla 17 <i>Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 15m</i>	41
Tabla 18 <i>Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados</i>	42
Tabla 19 <i>Resultado del ajuste por mínimos cuadrados</i>	42
Tabla 20 <i>Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario</i>	44
Tabla 21 <i>Producción diaria de aerogenerador ENAIR 200L</i>	45
Tabla 22 <i>Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía</i>	45
Tabla 23 <i>Equipos para instalación eléctrica de la micro red eólica</i>	46
Tabla 24 <i>Potencia generada por la micro red en los 3 puntos de estudio</i>	46
Tabla 25 <i>Costo de servicios básicos de un sistema eólico</i>	48
Tabla 26 <i>Indicadores financieros</i>	49
Tabla 27 <i>Indicadores financieros de la micro red eólica a distintas alturas</i>	50
Tabla 28 <i>Ahorro Económico de la micro red eólica conectada a la red</i>	52
Tabla 29 <i>Indicadores financieros de la micro red eólica con la velocidad del viento triplicada</i>	53

Índice de anexos

Anexo 1. Consumo de electrodomésticos de la residencia de la parroquia El Sagrario.....	59
Anexo 2. Ficha de aerogenerador ENAIR 200L	60
Anexo 3. Ficha técnica del inversor powerstar 1000w.....	61
Anexo 4. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 15m de altura.....	62
Anexo 5. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 57m de altura.....	62
Anexo 6. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 100m de altura.....	63

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA PARROQUIA EL SAGRARIO
PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL**

Nombre del estudiante: Johnny David Cadena Chandi

RESUMEN

El consumo mundial de energía eléctrica se ha incrementado, principalmente por el aumento poblacional, que demanda de energía para la realización de sus actividades, como producción de bienes y servicios mediante industrias y fábricas, también se encuentra como grandes consumidores el sector de producción alimentaria mundial (FAO, 2020). Como gran impacto para el año 2020 se divisó la decadencia de consumo energético en un 5%, debido a la crisis global causada por el virus SARS-CoV 2. Se estableció confinamiento al 30% de la población mundial, sin embargo, esto no significa que la demanda disminuya ya que la humanidad ha retomado su vida cotidiana, básicamente el crecimiento energético tendrá alrededor de 2,4% de demanda para el año 2040 (IEA, 2020). En efecto la presente investigación muestra la cantidad de recurso eólico existente en la superficie para la generación de energía eléctrica en el sector residencial, que al momento es la zona de mayor consumo energético en el área delimitada de estudio. Se obtuvo 8 760 datos durante todo el año 2021, de la base de datos SparkWeather a una altura de 15 m sobre la superficie, altura establecida por la base de datos. Para calcular la velocidad requerida para un aerogenerador, se calculó la velocidad inicial a diferentes alturas para encontrar un rendimiento óptimo y sin interrupciones para el dispositivo. El estudio realizado demostró no existir una factibilidad del recurso eólico para la producción de energía eléctrica mediante aerogeneradores de eje horizontal, además del análisis económico al no demostrar valores de recuperación en la inversión del proyecto.

Palabras Claves: consumo energético, confinamiento, recurso eólico, energía eléctrica, base de datos, aerogenerador, rendimiento optimo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**EVALUATION OF THE WIND POTENTIAL IN PARROQUIA EL SAGRARIO FOR
ITS ENERGY USE IN THE RESIDENTIAL SECTOR**

Student Name: Johnny David Cadena Chandi

ABSTRACT

The world consumption of electrical energy has increased, mainly due to the population increase, which demands energy to carry out its activities, such as the production of goods and services through industries and factories, the world food production sector is also a large consumer. (FAO, 2020). As a great impact for the year 2020, the decline in energy consumption was seen by 5%, due to the global crisis caused by the SARS-CoV 2 virus. Confinement was established for 30% of the world population, however, this does not mean that the demand decreases since humanity has resumed its daily life, basically the energy growth will have around 2,4% of demand for the year 2040 (IEA, 2020). In effect, the present investigation shows the amount of wind resource existing on the surface for the generation of electrical energy in the residential sector, which at the moment is the area with the highest energy consumption in the delimited area of study. 8 760 data were obtained throughout the year 2021, from the SparkWeather database at a height of 15m above the surface, a height established by the database. To calculate the speed required for a wind turbine, the initial speed at different heights was calculated to find optimal and seamless performance for the device. The study carried out showed that there is no feasibility of the wind resource for the production of electrical energy through horizontal axis wind turbines, in addition to the economic analysis by not demonstrating recovery values in the investment of the project.

Key words: energy consumption, confinement, wind resource, electric energy, database, wind turbine, optimal performance.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El viento es usado desde la edad antigua. Las embarcaciones usaban este recurso eólico para aumentar su velocidad de navegación, implementando una vela desplegada y sostenida por un mástil y al golpear el viento en la vela esta propulsaba el embarque. Con el paso del tiempo, aparecieron los primeros molinos eólicos, ya que existían máquinas que se usaban en la agricultura. No se tiene definido su origen, pero son los más similares a los aerogeneradores ya que los molinos ya tenían aspas (Rojas & Amezcua, 2015). Estos dispositivos fueron perfeccionados en Estados Unidos, donde se usaron alrededor de 6 millones para bombear agua entre los años 1850 y 1970. Mientras que en el ámbito energético el primer aerogenerador se lo instaló en Cleveveland-Ohio con una potencia de 0,012 MW (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

La investigación e innovación se desarrolló en Europa después de la Segunda Guerra Mundial, específicamente en Dinamarca, donde el uso de aerogeneradores de 0,025 MW fue muy extendido durante las últimas etapas del conflicto global. Luego se fabricó el modelo Gedser de 0,2 MW con 3 palas y dirección a favor del viento, funcionó con éxito hasta principios de los años 60. Alemania también desarrolló una serie de aerogeneradores de eje horizontal que serían los orígenes para la creación de futuros aerogeneradores (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

El consumo mundial de energía eléctrica se ha incrementado, principalmente por el aumento poblacional que demanda energía para la realización de sus actividades, como producción de bienes y servicios mediante industrias y fábricas, además de ciudades muy pobladas que incrementan el consumo energético proveniente de fuentes energéticas renovables y no renovables. También se encuentra como grandes consumidores al sector de producción alimentaria mundial (FAO, 2020). Como gran impacto para el año 2020 se ha visto la decadencia de consumo energético en un 5%, debido a la crisis global causada por el virus SARS-CoV 2, que ha obligado al confinamiento del 30% de la población mundial. Esto no significa que la demanda disminuya ya que la humanidad ha retomado su vida cotidiana y el sector energético está siendo nuevamente el mayor consumidor energético, porque la fabricación de productos depende de la electricidad, además de juntar el transporte de materia

prima, básicamente el crecimiento energético tendrá alrededor de 2,4% de demanda para el año 2040 (IEA, 2020).

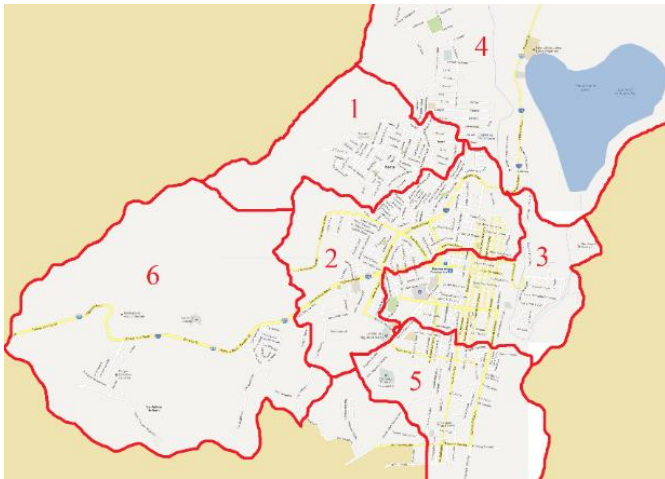
Con el desarrollo y avance de las energías no convencionales, gran parte del consumo energético ha sido suplido de manera amigable con el ambiente. Las energías predominantes a nivel mundial son: la energía hidráulica, seguida por la solar y eólica, aunque las mencionadas fuentes no están presentes de manera constante en algunas localidades alrededor del planeta (Román & Villacrés, 2012). En Ecuador las energías verdes mayormente instaladas son: energía hidráulica, solar y eólica, teniendo un potencial instalado de 21,5 MW en aerogeneradores, 5 079 MW en hidroeléctricas y 27,3 MW en paneles fotovoltaicos, las cuales aumentaron el potencial energético del país (IRENA, 2020).

Imbabura tiene instalaciones energéticas que la ubican en segundo lugar. Después de Pichincha, con un total de 11, las cuales 10 instalaciones corresponden a centrales renovables y 1 de fuentes no renovables, con una potencia total efectiva de 107 MW (ARCONEL, 2016). En el sector de Salinas de Imbabura, existió un estudio sobre la implementación de un parque eólico que estaba dirigido por el entonces Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, con el cual se esperaba un financiamiento de 22 millones de dólares que proveería de 15 MW de potencia efectiva a la provincia. Salinas es uno de los 3 sectores con mayor potencial eólico en el Ecuador, los otros dos sitios se encuentran en Villonaco-Loja y en Tarqui-Azuay (González, 2008).

En la provincia de Imbabura existen lugares con velocidades de viento aceptables. La figura 1 muestra la división por parroquias de la ciudad de Ibarra. La Parroquia El Sagrario (Punto 2) muestra una velocidad media del viento de 3 m/s, a una altura de 15m sobre la superficie, apta para el funcionamiento de un aerogenerador de eje horizontal. El funcionamiento de estos dispositivos es desde los 2 m/s a 3 m/s (Morales, Eraso, Escobar, & Paz, 2017). El lugar en teoría representa datos aceptables para la implantación de aerogeneradores.

Figura 1

Parroquias Urbanas de Ibarra. El Sagrario (Punto 2)



Nota. Adaptado de Parroquias Urbanas de Ibarra. (https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Parroquias_Urbanas_de_Ibarra.png)

La energía eólica se encuentra alrededor del mundo y para usar este recurso natural renovable se debe realizar un estudio local de mediciones, tanto de velocidad como dirección en la que el viento transcurre, para así obtener una caracterización del lugar. La obtención de datos debe ser como mínimo de 20 años, para poder obtener registros más completos y exactos sobre el comportamiento del recurso eólico (Hernández, Espinoza, Saldaña, & Rivera, 2011). Además, el usuario después de recolectar información debe estar seguro de que la energía producida por el viento suplirá la demanda de los aerogeneradores, para así abastecer de electricidad a un sector específico (NREL, 2020).

Un aerogenerador o conjunto de aerogeneradores son aquellos proveedores de electricidad a un determinado sector, además se encuentran conectados de manera directa a una carga, a través de un conversor DC/AC, la función de estos puede ser de manera aislada o acoplados al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Un sistema eólico está clasificado de acuerdo con su capacidad nominal y ubicación (Chachapoya Veloz, 2014). De acuerdo con su ubicación puede ser Onshore como se muestra en la figura 2.

Figura 2

Parque Eólico Onshore en Noruega



Nota. Adaptado de Granjas Eólicas en España, Iberdrola, 2016.

Mientras que un parque eólico Offshore proyectado en la figura 3, es donde los dispositivos son acoplados en la plataforma marina. Además puede configurarse de diversas formas según su relación con la red, tipo de energía, potencial eólico, régimen de demanda, características del aerogenerador (Villarubia, 2012).

Figura 3

Parque Eólico Offshore ubicado en Holanda



Nota. Adaptado de Granjas Eólicas en España, Iberdrola, 2016.

Utilizando una base de datos meteorológica se procede a la obtención de datos, como dirección y velocidad del viento. También se incluye factores secundarios que pueden influir como: precipitación, humedad y radiación. Los datos serán almacenados en una hoja de cálculo, dichos datos deberán ser monitoreados desde una cierta altura sobre la superficie del suelo y así evitar alteraciones por obstáculos que se encuentren en la superficie (Palesse & Lassig, 2017).

El lugar o lugares seleccionados se basarán mediante la investigación bibliográfica y de campo, mediante atlas eólicos de la zona o historial de datos en el caso de que existan. Se deberá tomar en cuenta aspectos como elevaciones por construcciones o árboles, rugosidad del terreno, horas de viento existentes, paso de aves migratorias, etc. Debemos tener en cuenta que mientras mayor y constante sea la velocidad del viento mayor será la producción de energía (Ramos & Sarmiento, 2014).

La distribución se la realiza con los datos adquiridos durante determinado tiempo, ordenándolos de manera ascendente, la cual sirve para encontrar la dirección de viento predominante, así se deberá ajustarse el aerogenerador para producir energía y evitar fluctuaciones en la corriente por falta del recurso eólico (Morales, Eraso, Escobar, & Paz, 2017). Para el ordenamiento de datos mediante la amplitud de clases en los que se distribuye la velocidad del viento, se usará análisis estadístico como la regla de Sturges, incluso se calculará la frecuencia absoluta, frecuencia relativa, para promediar una velocidad que sea adecuada y constante para las cargas por nuevos dispositivos eléctricos que puedan integrarse a la red doméstica (Olesker, 2018).

Al ser una energía proveniente de un recurso renovable es ilimitada, mientras se tenga al sol. Esta super estrella ayuda a que los vientos se produzcan sea con mayor o menor intensidad, pero siempre están en todas las partes del globo terráqueo. La producción de energía eólica ya no emite gases de efecto invernadero, debido a que los aerogeneradores no usan ningún tipo de combustible fósil (De Física Ambiental, 2014). La creación de empleos de manera directa e indirecta, la disminución de costes económicos por pagos a empresas eléctricas, una tecnología madura ya que su tecnología ha reducido costos de instalación y de estudios previos, ayuda a la independencia energética, instalación en lugares que no están conectados al SNI, básicamente la oportunidad económica y ambiental es la más atractiva en este tipo de instalaciones (Talayero, 2012).

Para los aerogeneradores es necesario poseer un área sin muchas irregularidades en la superficie y sus alrededores, además disponer una gran extensión de terreno. Esto también impide o afecta a la migración de aves, ya que las bandadas pueden impactarse sobre las torres o pueden ser golpeadas al girar las aspas (Talayero, 2012). La afectación por el ruido del giro afectaría a los pobladores cercanos a la instalación. La sombra parpadeante que reflejar, haría

que el poblador sienta un estrés visual. Un factor que también causaría de manera negativa esta graja eólica sería la contaminación visual, porque afectaría un lugar turístico u opacaría el paisaje que podría ser de atracción o relajamiento de la sociedad, lo que generaría un rechazo colectivo (Castillo, 2016).

Las energías permutables son fuentes amigables con el ambiente, provienen de fuentes naturales e inagotables (sol, viento, agua, calor interno de la tierra, biomasa). Reducen la emisión de gases de efecto invernadero, los principales causantes del calentamiento global. Aportan de energía hacia un establecimiento o localidad específica sea aislada o conectada a la red electrificada nacional (Twidell & Weir, 2015).

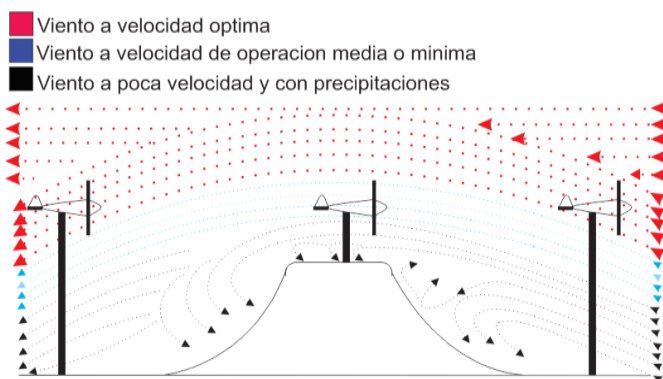
La energía que proviene del viento actualmente es una fuente tecnológica madura y desarrollada, siendo las masas de aire surtidores de energía, no contemplan ciclo de reposición, ya que su fuente durará mientras nuestra estrella principal brille (Quaschnig, 2016). Asimismo, este recurso está presente en la mayoría del planeta y en gran parte del año, sobre todo en lugares donde las masas de aire tienen un mayor movimiento debido a la geografía de la localidad (Quaschnig, 2016).

Román & Villacrés, (2012) mencionan los parámetros que se deben tener en cuenta durante el emplazamiento, para tener un mínimo efecto de dichos obstáculos en la producción energética del sistema, los obstáculos a los que se enfrenta este tipo de equipos se muestran en la figura 4.

- Rugosidad: Influencia de los obstáculos y del contorno del terreno en la variación de la magnitud y dirección del viento.
- Turbulencia: Ráfagas de viento que alteran la dirección y la velocidad del viento´.
- Obstáculos del viento: puede crearse turbulencias por obstáculos cercanos como edificaciones, árboles, formaciones rocosas.
- Efecto de la estela: implica que, al pasar el viento por la hélice, creará una turbulencia en la parte trasera por lo que deberá separarse cada aerogenerador lo que conlleva a una mayor necesidad de terreno.

Figura 4

Ráfagas causadas por obstáculos en el terreno



Nota. Configuración de instalación en distintos relieves. Tomada de (IDAE, 2016).

1.2 Planteamiento del Problema

La decadencia de los combustibles fósiles y el impacto que causaron al ambiente durante su explotación y transformación, fueron los principales causantes de un deterioro en la naturaleza, pero a pesar de ser la fuente principal de energía del mundo, la búsqueda por una nueva o nuevas fuentes energéticas se ha convertido en la carrera energética primordial para todas las naciones (Mignorance, 2015). Según Karacsonyi (2013) en su informe titulado Panorama Energético Mundial, muestra durante los últimos veinte años el crecimiento energético mundial en un 3% anual, ocupando el 85% de esta demanda los combustibles fósiles, además relata que el crecimiento mundial energético no tiene la perspectiva de cambiar durante los siguientes veinte años.

En América Latina y el Caribe la demanda de energía primaria creció en un radio de 3,2% desde el año 2000 al 2014, debido al crecimiento acelerado económico que vivió en dichos años, pero en la actualidad el crecimiento primario de energía ha disminuido con una expectativa de crecimiento del 1,7% del año 2014 al año 2030 (Development Bank Of Latin American, 2017). En cuanto a energía eléctrica, el crecimiento desde el año 2000 al 2014 creció en 3,5% alcanzando los 1 291 TWh, esto debido al crecimiento demográfico que vivieron grandes capitales latino americanas y al mejor estilo de vida debido a la bonanza económica que alcanzaron ciertos países. (Development Bank Of Latin American, 2017).

El INEC (2014), en su informe sobre La Nueva Cara Sociodemográfica del Ecuador menciona: que el crecimiento poblacional hacia el 2035 será de 20 millones de habitantes, por lo que la demanda de varios sectores estratégicos se verán aumentados sobretodo el sector eléctrico del país. Evaluar el potencial o cantidad de energía que puede generar un recurso verde es primordial para satisfacer la demanda consumista de una sociedad, por lo que el recurso eólico es una fuente generadora de gran capacidad (MEER, 2017).

La problemática del estudio se basa en encontrar una alternativa a la reducción del pago en la planilla eléctrica en los hogares de la parroquia El Sagrario, mediante el diseño de una micro red de generación eléctrica con el uso de aerogeneradores de eje horizontal.

1.3 Justificación

La excesiva explotación de recursos fósiles en todos los yacimientos del mundo ha conducido a una decadencia y agotamiento de los recursos ya mencionados, debido a que su regeneración es de cientos de miles de años. Estas fuentes no renovables además tienen un gran impacto ambiental debido a la gran emanación de gases contaminantes. En Ecuador estos combustibles fósiles son la fuente principal para la producción energética, también son fuente principal de ingresos económicos al país.

Actualmente las energías no convencionales han tenido un fuerte avance tecnológico como alternativa productiva de energía a gran escala, siendo las principales y más desarrolladas las centrales hidroeléctricas, eólicas y solares. En el país tienen mayor predominancia las hidroeléctricas, seguida por parques eólicos ubicados en las Galápagos y en la provincia de Loja y por último y de manera significativa las centrales fotovoltaicas que se encuentran en Imbabura ubicadas en Salinas y Pimampiro.

Evaluar el potencial eólico para su aprovechamiento mediante aerogeneradores de eje horizontal en la ciudad de Ibarra en la Parroquia El Sagrario, es beneficioso porque en el sector puede existir un potencial eólico adecuado, debido a la altitud y las masas de aire que circulan constantemente por dicha zona.

Este estudio se realizará con la finalidad de proveer de energía limpia, diseñando un sistema de generación eléctrica eólico que permita la sustentación energética de hogares promedio que busquen una reducción en los costos de las planillas eléctricas.

1.4 Pregunta Directriz

¿Es posible generar energía eléctrica en una vivienda de la Parroquia El Sagrario por medio de aerogeneradores?

1.5 Objetivos

1.1.1 *Objetivo General*

Evaluar el potencial eólico en la parroquia El Sagrario para uso energético en viviendas.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Evaluar el potencial eólico en la vivienda ubicada en la Parroquia El Sagrario.
- Diseñar un sistema de generación eléctrica mediante una micro red de energía eólica, para una vivienda ubicada en la Parroquia El Sagrario.
- Cuantificar la cantidad de generación de energía eléctrica de la micro red eólica.

1.6 Hipótesis

Las masas de aire circundantes en la parroquia El Sagrario poseen el potencial óptimo para la generación de electricidad a viviendas familiares.

1.7 Marco Legal

El estudio se basa en documentos nacionales constitucionales que respaldan el uso energético mediante energías no convencionales y la reducción de gases contaminantes de efecto invernadero y también en los objetivos del buen vivir.

1.7.1 *Constitución de la República del Ecuador*

“**Art. 15.** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.”

“**Art. 413.** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

“**Art. 414.** El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica.”

1.7.2 *Objetivos Plan Nacional de desarrollo*

Objetivo 3: Mejorar la calidad de vida de la población

Literal 3.9: Garantizar el acceso a una vivienda adecuada, segura y digna.

Sección 3.9 d: Promover la construcción de viviendas y equipamientos sustentables que optimicen el uso de recursos naturales y utilicen la generación de energía a través de sistemas alternativos.

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.

Literal 7.7: Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención a la contaminación ambiental.

Sección 7.7 b: Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

Objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.

Literal 11.1: Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable

Sección 11.1 d: incentivar el uso eficiente y ahorro de energía, sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios.

Sección 11.1 h: Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para la generación eléctrica.

Sección 11.1 t: Fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sustentable de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción.

Capítulo II

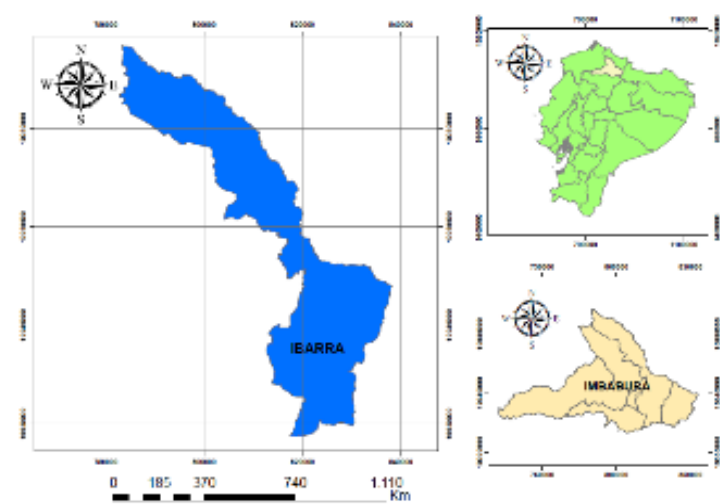
Marco Teórico

2.1 Ubicación Geográfica

El área de estudio es en el cantón Ibarra (Figura 5), se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, entre las coordenadas $00^{\circ} 20' 00''$ y $78^{\circ} 06' 00''$. Los límites del Cantón son: al norte con la provincia del Carchi, al noroeste con la provincia de Esmeraldas, al oeste con los cantones Urcuquí, Antonio Ante y Otavalo, al este con el cantón Pimampiro y al sur con la provincia de Pichincha. El Cantón Ibarra está constituido por cinco parroquias urbanas: El Sagrario, Caranqui, Alpachaca, San Francisco, y La Dolorosa del Priorato y las siete parroquias rurales son: Ambuquí, Angochagua, San Antonio, Lita, La Esperanza, Salinas, La Carolina, con una superficie total de 1 162,22 km² (GAD Ibarra, 2020).

Figura 5

Localización geográfica de Ibarra



2.2 Energía Eléctrica

La electricidad es la acción que producen los electrones al trasladarse de un punto a otro, ya sea por su falta o exceso de estos en un material (Saucedo & Bosques, 2012). La energía eléctrica es la fuente de alimentación de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que se usan diariamente. A pesar de que existen avances favorables en este campo, el sistema eléctrico mundial es totalmente ineficiente y contaminante en la actualidad (Pilicita & Cevallos, 2019).

2.3 Energías Renovables

Las energías no convencionales son originadas de recursos renovables, puede existir una excesiva explotación del recurso, y nunca disminuirá o afectará a su entorno, ya que estos elementos son provenientes del sol (energía solar), masas de aire (energía eólica), caudales de agua (energía hidráulica), energía interna de la tierra (energía geotérmica) y (biomasa) que es energía por desechos orgánicos (Merino, 2012).

2.4 Energía eólica

La energía eólica tiene clasificaciones, que se pueden dar debido a su lugar de emplazamiento, de acuerdo con el eje de turbina, potencial que va a generar, si va a conectarse al SNI o va a ser aislada y si va a ser residencial o nacional. Son parámetros que tomar en cuenta sobre todo por la generación de viento que exista, que es el que regirá el modo de empleo de un sistema de aerogeneradores (Moragues & Rapallini, 2013).

Dinamarca fue el originario de transformar la energía eólica en eléctrica a principios del siglo XX, abastecían necesidades eléctricas del 25%, con una potencia instalada de 30 MW que eran abastecidas por 2 500 turbinas industriales y 4 600 más de baja potencia. Todo el mencionado proyecto se destruyó en un 85% por el suceso de la primera guerra mundial, los aerogeneradores que fabricaban los daneses tenían una potencia de 0,02 MW a 0,03 MW (UNNE, 2016). El modelo Gedser, denominado así por la ciudad en la que se instaló, fue el modelo que generó mayor capacidad en la década de los 80, con una potencia de 0,2 MW, constaba de una hélice tripala de 24 m de diámetro y de regulación con alerones que estaban ubicados a sus extremos (Ruales, 2014).

2.5 El viento

Contiene energía que puede ser transformada, dependiendo de la necesidad que se tenga, puede ser: energía eléctrica, energía mecánica. Se transforma en estas energías principalmente desde la energía cinética, se usan diferentes dispositivos para lograr estas transformaciones de energías, además el aprovechamiento de este recurso inicia desde bajas velocidades y si aumenta las velocidades de una manera drástica, los dispositivos deben ser detenidos para evitar daños futuros (Secretaría de Energía de Argentina, 2010).

Este recurso no es nada más que aire en movimiento, la principal fuente para su formación es el sol, esto debido al calentamiento desigual que se produce en la superficie del planeta, por lo que el viento es producido por las condiciones atmosféricas, estas son las causantes de que el aire tenga zonas con diferentes temperaturas, el aire frío empieza a descender, mientras que el aire caliente empieza a ocupar el espacio que dejó las masas de aire frío, siendo esta la manera en la que el viento empieza a generarse (Eulalia, 2018).

También puede dividirse en dos tipos: vientos globales y vientos locales. Los vientos globales son las masas de aire mundiales, mientras que los vientos locales son de una localidad específica, como es el caso de este estudio para la toma de datos de dirección y velocidad (Alsehlli & Makhalas, 2014).

Ecuador posee una variedad climática por su ubicación geográfica, situado en la línea ecuatorial, es influenciado por las corrientes marinas y por la cordillera de los andes, dichos fenómenos originan los vientos en el Ecuador continental, debido a las diferentes presiones atmosféricas que causan que los vientos originan que el aire se mueva de áreas de mayor presión hacia áreas de menor presión (Alsehlli & Makhalas, 2014).

2.5.1 Energía cinética

Es una energía producida por el rápido movimiento de las partículas gaseosas que se encuentran contenidas en el aire. Esta energía cinética tuvo un largo desarrollo por los científicos Robert Boyle y Daniel Bernoulli, que enmarcaron la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \tag{1}$$

E_c = *Energía Cinética*

m = *masa del objeto*

v^2 = *velocidad elevada al cuadrado*

Para calcular el poder de generación eólica, se detalla la siguiente fórmula:

$$P_W = \frac{1}{2} \rho * A * v^3 \quad (2)$$

P_W = Potencia de generación eólica

ρ = densidad del aire

A = Area de barrido

v^3 = velocidad elevada al cubo

Donde A es el área de barrido de las palas del aerogenerador

$$A = \pi r^2 \quad (3)$$

A = Area de barrido del aerogenerador

π = 3,1416

r^2 = radio del barrido elevado al cuadrado

2.6 Aerogeneradores

La función de estos dispositivos básicamente es transformar la energía cinética producida por las masas de aire en energía mecánica, después a energía eléctrica por medio de un sistema de engranajes y generadores eléctricos. Estos mecanismos funcionan con el choque de aire en las aspas, dependiendo de la cantidad de viento, el área de barrido y la densidad del aire circundante de la zona (Mingtian, 2013).

2.6.1 Aerogenerador de eje vertical

Este tipo de aerogeneradores se han convertido en la actualidad, en dispositivos de uso residencial porque muestran una eficiencia óptima en el funcionamiento a bajas velocidades y a bajas alturas desde la superficie (Ullauri, Cepeda, & Arcos, 2016). El rendimiento máximo de estos aerogeneradores se establece mediante la siguiente ecuación:

$$U = \frac{v}{3} \quad (4)$$

Donde U es la velocidad del extremo del álabe, y v es la velocidad del viento.

2.6.2 Aerogenerador de eje horizontal

Estas turbinas eólicas son las más usadas en el contexto de transformación energética, su eficiencia, sus costes, sus materiales, son elementos muy importantes que permiten una gran ventaja en la instalación y construcción de estas infraestructuras, también son excelentes plantas de generación eléctrica a gran escala, es decir que pueden dotar de energía a ciudades o regiones completas (Guney, 2015). Mediante una distribución de Weibull, se puede generar estadística sobre el comportamiento del aerogenerador al momento de producción energética, además esta distribución genera el modelo óptimo de dispositivo que debe usarse en torno a los fenómenos físicos que se desarrollen en la zona de emplazamiento. Este tipo de aerogeneradores son los principales y únicos implementados en este estudio.

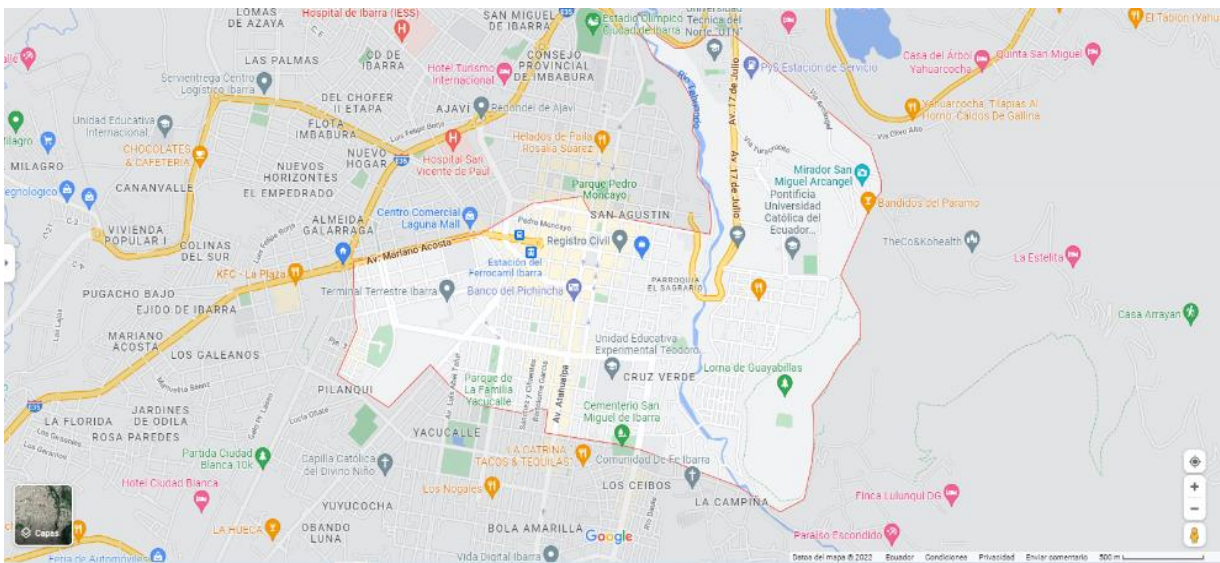
CAPÍTULO III METODOLOGIA

3.1 Área de estudio

La parroquia El Sagrario delimitada en la figura 6 se encuentra ubicada en la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura, tiene una extensión de 1 056,94 hectáreas y cuenta con una población total de 57 322 habitantes. Es la segunda parroquia con mayor población y extensión del cantón Ibarra después de la parroquia San Francisco (GAD IBARRA, 2018).

Figura 6

Delimitación de la Parroquia El Sagrario



Nota. Adaptado de Google Earth, (<https://www.google.com/maps/place/Parroquia+El+Sagrario,+Ibarra/@0.3472688,-78.1173956,15z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x8e2a3cbb76f096f0x8d8f4c6d9741f421!8m2!3d0.346072!4d-78.1136794!16s%2Fg%2F12vqlg3xj>)

3.2 Evaluación del potencial eólico

Para realizar un análisis de viabilidad del viento como fuente de energía, requiere conocer sus características. Debido a su variabilidad y aleatoriedad deben aplicarse técnicas estadísticas para su análisis.

3.2.1 Toma de datos

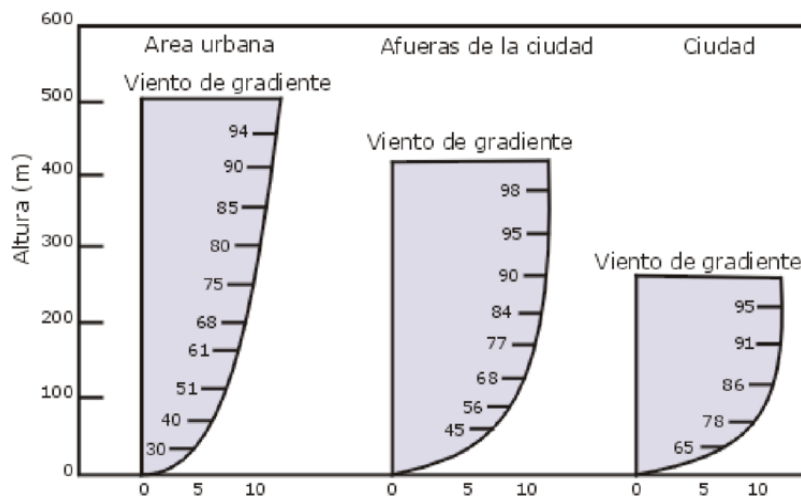
Para el desarrollo de los cálculos del potencial eólico, se inició con la obtención de una base de datos (BD) validada, que cuenta con toma de datos diarias durante los últimos 5 años con un polígono de 50 km x 50 km, tomando como referencia un hogar residencial de 4 personas (Vera, 2012). En la presente investigación se descargó información durante un año (2021), medida establecida para pequeñas productoras de energía (Organización Meteorológica Mundial, 2018).

Se descargaron 8 760 datos de la BD SparkWeather en formato csv, la cantidad de datos fue seleccionada por los parámetros establecidos por la OMM, teniendo un promedio de recolección de información durante cada hora, la altura establecida por la BD es desde los 15m sobre la superficie.

Existe una relación de la altura con la velocidad del viento, en la figura 7 se muestra este aumento gradual entre la altura y la velocidad del viento. Estas mediciones fueron hechas entre el área urbana, área rural y la parte central de la ciudad.

Figura 7

Cuadro de relación entre el aumento de velocidad a diferentes alturas



Nota. Adaptado de Manual de la Energía Eólica (p. 98), por S.C. Pardillos, 2017.

3.2.2 Obstáculos cercanos en la localidad

La figura 8 indica lo siguiente: la elección de un punto óptimo para el lugar a evaluar, esto significa que no debe existir irregularidades en el terreno, por lo que la residencia seleccionada se encuentra en una colina, donde los hogares aledaños no producen intermitencias en el flujo del viento, debido a que ninguna estructura en un diámetro de 50 metros supera los 15 metros de altura desde la superficie (Organización Meteorológica Mundial, 2018).

Figura 8

Turbulencias causadas por obstáculos



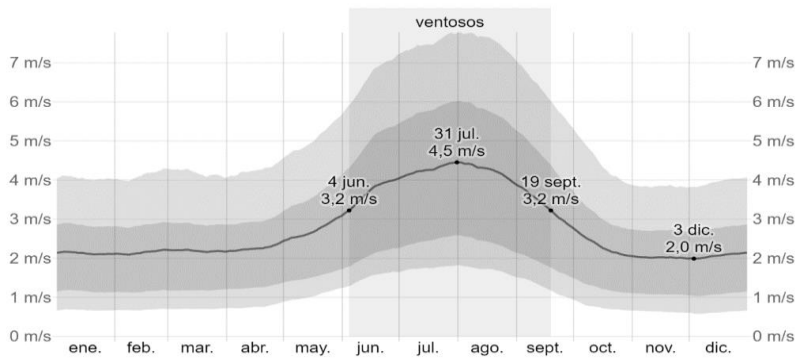
Nota. Adaptado de Danish Wind Industry, (<http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/obst.htm>)

3.2.3 Técnica de medición

Se emplea mediante una base de datos que recopila información de cualquier localidad alrededor del mundo durante un tiempo de 40 años, mediante georreferenciación la base de datos debe ser validada, se comprueba la validación cuando la toma de datos es almacenada por un satélite atmosférico (Archer, 2015). La base de datos de Weather Spark es referenciada y validada por usar el satélite de la NASA MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis (Cedar Lake Ventures, Inc., 2022). En este proceso se determinó el tiempo base de un año, eligiendo todo el año 2021.

Figura 9

Cuadro demostrativo del tiempo de descarga de datos en base a la velocidad del viento.



Nota. Promedio de velocidad del viento durante todo el año 2021. Tomada de (Weather Spark, 2021)

3.2.4 Tratamiento de datos

En esta sección se calculó la velocidad del viento a diferentes alturas. La elevación establecida por la Base de Datos fue de 15 metros sobre la superficie. Se aumentaron cálculos a una altura de 57m de altura y a los 100m de altura. La altura de 57m es el promedio de la velocidad inicial más la velocidad final dividido entre dos. Además se tomó en cuenta los distintos aspectos como la rugosidad del terreno, los obstáculos que se encuentren alrededor del punto de estudio, etc. (Olesker, 2018). La velocidad del viento para este caso de estudio fue en medidas de m/s y la dirección del recurso eólico fue en grados sexagesimales (Organización Meteorológica Mundial, 2018).

Figura 10

Representación de dirección y velocidad del viento



Nota. Adaptado de Manual de la Energía Eólica (p. 84), por S.C. Pardillos, 2017.

3.2.5 Prueba de normalidad

La totalidad de datos descargados fue de 320 000. Se recolectó la información cada dos minutos de todas las variables atmosféricas. La prueba de normalidad se realizó en el software Infostat, un programa estadístico en el cual se ingresó la cantidad total de datos y luego se promedió en forma horaria, teniendo como resultado final 8 760 datos (Salah, Leila, & Benaissa, 2020).

Figura 11

Premediación de datos dos minutarios a horarios

Caso	FECHA	Viento (m/s)	Dirección de Viento (°)
1	1/1/2021	0,00	260
2	1/1/2021	0,00	335
3	1/1/2021	0,00	140
4	1/1/2021	0,00	297
5	1/1/2021	0,00	294
6	1/1/2021	0,00	305
7	1/1/2021	0,00	97
8	1/1/2021	0,00	263
9	1/1/2021	0,00	137
10	1/1/2021	0,90	5
11	1/1/2021	2,50	307
12	1/1/2021	4,80	301
13	1/1/2021	4,30	349
14	1/1/2021	7,90	299
15	1/1/2021	6,40	357
16	1/1/2021	6,00	9
17	1/1/2021	5,10	303
18	1/1/2021	1,60	258
19	1/1/2021	3,00	310
20	1/1/2021	2,50	295
21	1/1/2021	2,00	353
22	1/1/2021	0,00	257
23	1/1/2021	0,00	298
24	2/1/2021	0,80	308
25	2/1/2021	0,80	341

Tabla 1

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Viento (m/s)	8737	0,06	0,02	120,49

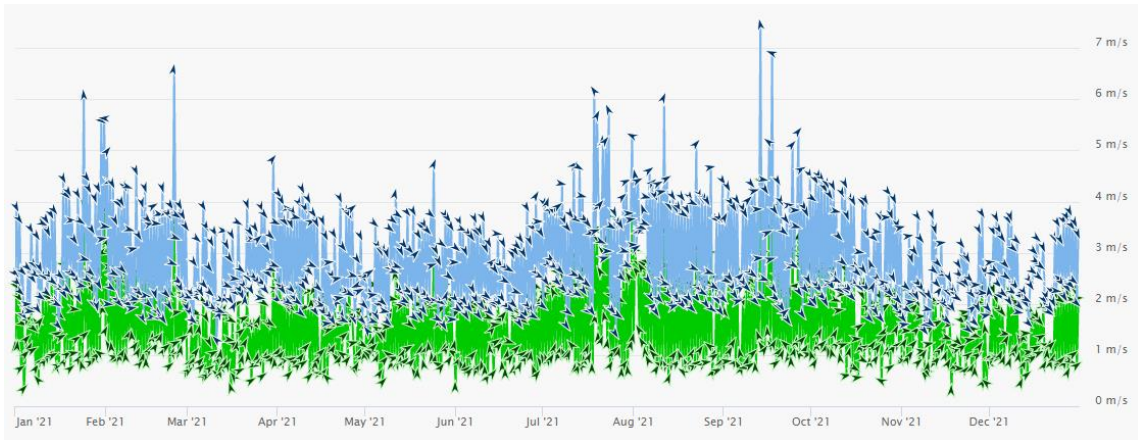
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2572,98		385	6,68	1,46 <0,0001
FECHA	2572,98		385	6,68	1,46 <0,0001
Error	38207,63		8351	4,58	
Total	40780,61		8736		

La figura 12 muestra en color azul la velocidad del viento en ráfagas, es decir velocidades del viento abruptas durante un tiempo determinado, mientras que los indicadores en color verde representan la velocidad del viento sin fluctuar durante la mayor parte del día. Estas mediciones son tomadas a una altura sobre la superficie de 15m.

Figura 12

Velocidad promedio durante el año 2021



Nota: Imagen obtenida de meteoblue_(Meteoblue)

Figura 13

Rosa de vientos. Datos del año 2021



Nota: Imagen obtenida de meteoblue_(Meteoblue)

3.3 Diseño de sistema de generación eléctrica

3.3.1 Cálculo de la velocidad a distintas alturas

A mayor altura se genera mayor velocidad del viento, la siguiente ecuación facilita el cálculo de las variables (Villarubia López, 2013):

$$v_1 = v_0 \left(\frac{z_1}{z_0} \right)^\alpha \quad (5)$$

v_1 : Velocidad por calcular

v_0 : Velocidad inicial

z_1 : altura deseada a calcular

z_0 : altura mínima establecida

α : coeficiente de rugosidad

Figura 14

Clases y longitudes de rugosidades

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (z_0) (m)	Índice de energía (%)	Tipo de terreno
0	0,0002	100	Superficie de agua. Terreno abierto, superficie lisa.
0,5	0,0024	73	Pistas de hormigón (aeropuertos), césped...
1	0,03	52	Campos abiertos sin cercados ni setos. Edificios muy dispersos. Colinas suavemente redondeadas.
1,5	0,055	45	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8 m situado como mínimo a 1.250 m.
2	0,1	39	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8 m situado como mínimo a 500 m.
2,5	0,2	31	Campo con muchas casas y arbolado de hasta 8 m situado como mínimo a 250 m.
3	0,4	24	Pueblos, bosques y terreno accidentado y desigual.
3,5	0,8	18	Ciudades con edificios altos.
4	1,6	13	Grandes ciudades con edificios muy elevados.

Nota: Imagen obtenida de Ingeniería de la Energía Eólica (Villarubia Cervantes, 2013)

Figura 15

Ingreso de fórmula de cálculo de velocidad a diferentes alturas en Matlab

```
Editor - D:\Respaldos2022\Documents\ENERGIAS RENOVABLES\TESIS\Easy
clase.m x objetivo1y2.mlx x programa.m x +
1 - clear all
2 - Zo=15
3 - j=0
4 - Vo=readtable('PUNTOS_AÑO_TIPO.xlsx');
5 - for i=Zo:100
6 -     Zi=i;
7 -     j=j+1;
8 -     vo=Vo.Viento_m_s_;
9 -     f=0.3;
10 -    Vi(1:length(vo),j)= vo*((Zi/Zo)^f);
11 - end
12 - Vi
13 - mesh(Vi)
14 - Vi=table(Vi)
15 - writetable(Vi,'salida.xlsx')
```

3.3.2 Cálculo de la potencia

Con los nuevos valores de la velocidad, se reemplaza los valores para calcular la potencia generada a distintas alturas con la siguiente ecuación (Villarubia López, 2013):

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad (6)$$

P : potencia en watts

ρ : densidad del aire en kg/m^3

A : Superficie en m^2

v^3 : velocidad del viento

Figura 16

Ingreso de fórmula sobre cálculo de potencia en Matlab

```
1 clear all
2 D=input("ingrese el area de barrido= ");
3 pi=3.1416;
4 A=D*pi
5 B=1/2
6 d=0.868
7 v=table2array(readtable('salida.xlsx'));
8 [datos,alturas]=size(v)
9 fi=datetime("1/01/2021")
10 ff=datetime("31/12/2021")
11 fecha=linspace(fi,ff,datos)';
12 ejey=15:100;
13 ejex=1:datos;
14 [X,Y]=meshgrid(ejey, fecha);
15 P=(B*d*A*(v.^3));
16 mesh(X,Y,P)
17 P1=P(:,end)
```

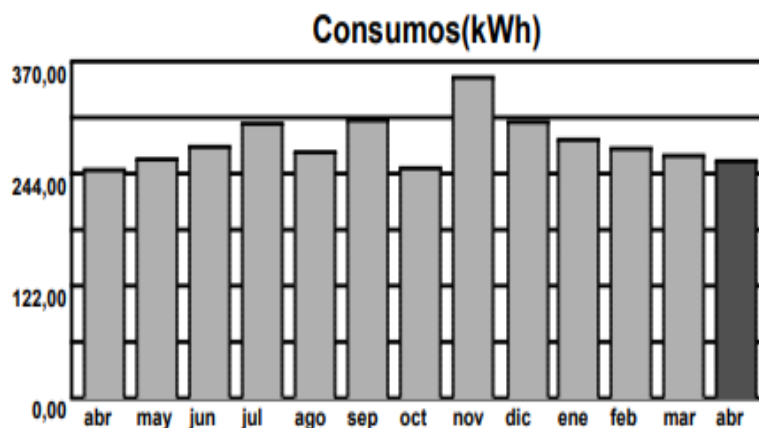
3.4 Cuantificación de la cantidad de generación de energía eléctrica.

3.4.1 Consumo eléctrico

Las cargas que usa un hogar promedio en la zona de estudio son monitoreadas mediante un medidor de energía eléctrica que es otorgado por la empresa regional de electricidad EMELNORTE. El dispositivo ayuda con una información estadística acerca del consumo de electricidad de la casa. La figura 17 proyecta la cantidad de electricidad que se ha consumido en el hogar durante 12 meses, durante el año 2021.

Figura 17

Cuadro estadístico sobre consumo energético del hogar evaluado



Nota. Adaptado de EMELNORTE. Consumo económico durante el año 2021 (<http://www.emelnorte.com/docs/html/factura.html>)

3.4.2 Aparatos electrónicos

Obtenido el consumo mensual de la vivienda se registran los electrodomésticos totales que existan en el hogar para poder tener un valor exacto de los dispositivos. Esto ayuda a verificar que exista un correcto instalado y uso de los aparatos electrónicos.

Tabla 2

Cuadro de cargas eléctricas de la vivienda y su potencia

CANTIDAD	ELECTRODOMESTICOS	POTENCIA (W)
2	Refrigeradora	300
3	Televisión	50
1	Equipo de Sonido	45
3	Computadora	250
1	Microondas	700
1	Licuada	400
1	Horno Inducción	1100
1	Plancha	1000
1	Lavadora	1100
10	Focos	10
12	Toma Corrientes	15

3.4.3 Producción de energía eléctrica de la micro red.

El cálculo se realiza tomando datos de la potencia instalada a las 3 alturas investigadas. Se tiene en cuenta la potencia instalada, el tiempo de uso, el factor de uso, la potencia total y la potencia final anual. El factor de uso para el presente caso de estudio es de 0,6 establecido para velocidades de viento no mayor a 8 m/s. El tiempo de uso son las horas en las que el sistema de producción eléctrico se encuentra en funcionamiento para abastecer las cargas eléctricas del hogar.

La siguiente ecuación nos muestra el proceso para realizar la obtención de la potencia anual:

$$P = \frac{(P_{ins} * h * \eta)}{1\ 000} * 12 \quad (7)$$

P = Potencia anual (kWh/año)

P_{ins} = Potencia instalada

h = Tiempo de uso

η = Factor de uso

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación del potencial eólico

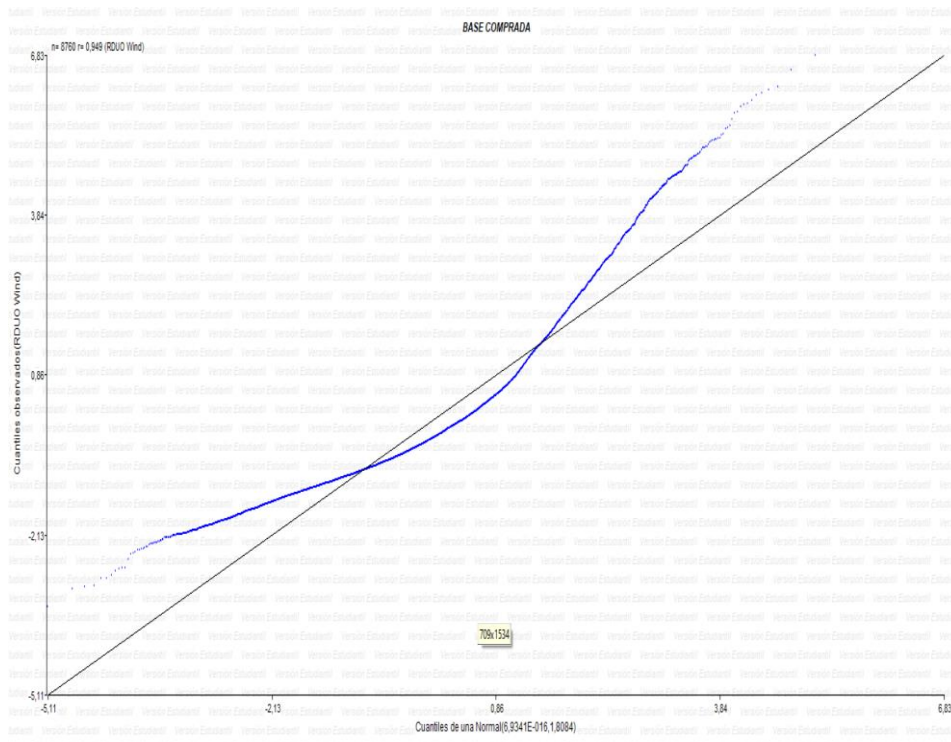
A continuación se muestra los resultados en base a la metodología del proyecto para la sustentación de cada uno de sus valores. Los resultados presentados son con parámetros de valores establecidos en el año de investigación, por lo tanto los valores adecuados en este proceso son referenciados durante el año 2021.

4.1.1 Pruebas paramétricas en Infostat

Para analizar el porcentaje de factibilidad de los datos obtenidos durante un año de la base de datos sobre velocidad y dirección de viento, se ingresaron 8 760 datos en un modelo estadístico del software Infostat, que proyecte una fiabilidad del 95% en la normalidad de datos para continuar con el estudio. Este modelo estadístico confirmó la fiabilidad de los datos a una altura de 15 metros sobre la superficie del suelo, dando como porcentaje de aceptación del 94,9%.

Figura 17

Modelo estadístico de pruebas paramétricas realizado en Infostat

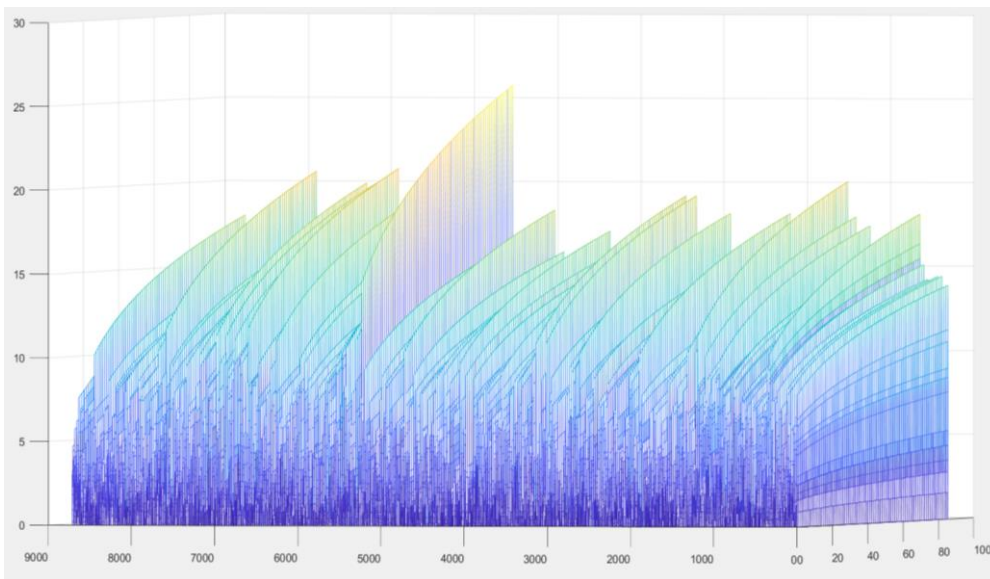


4.1.2 Cálculo de la velocidad a diferentes alturas

Se establece la altura mínima de la base de datos de 15 metros y se realizan operaciones matemáticas para encontrar la velocidad a diferentes alturas, se establece 3 alturas. Desde los 15 metros, 57 metros obtenido de los sumatorios límites y dividido para dos y la tercera medición hasta los 100 metros sobre la superficie. Los datos se obtienen del software matemático Matlab, también se promedió cada velocidad a las diferentes altitudes.

Figura 18

Modelo matemático en función de las diferentes alturas, la cantidad de datos y la velocidad del viento.



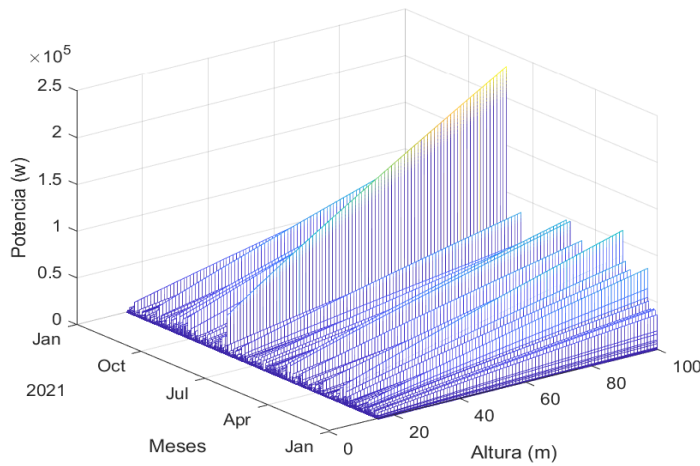
4.2 Diseño de sistema de generación eléctrica

4.2.1 Potencia en base a la velocidad del viento

El diseño de la micro red eólica va en función de la potencia generada en las distintas alturas, de tal manera se debe expresar por medio de fórmulas con la ayuda del software Matlab el punto de mayor generación en relación con la fecha que exista un mayor potencial durante todo el año evaluado. En la siguiente figura se demuestra en un plano de tres dimensiones la variación de la potencia en función de la velocidad con diferentes alturas.

Figura 19

Potencia en función de las alturas



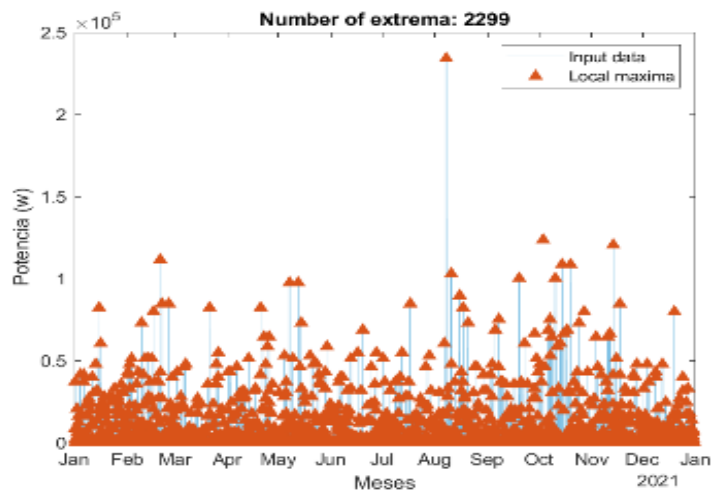
4.2.2 Selección de puntos a 100m de altura

4.2.2.1 Potencia generada a 100 metros de altura

En este proceso verificamos las fechas que contengan la mayor cantidad de generación eólica en una altura de 100 metros, demostrando la potencia generada en el tiempo establecido. Siendo los meses de mayor potencial los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, con una generación de potencia de 120 kW, finalmente el número de datos con mayor potencial fue de 2 299 puntos eficientes.

Figura 20

Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021



4.2.2.2 Frecuencias relativas y absolutas de la base de datos

La tabla 3 muestra los parámetros establecidos que se obtuvieron mediante los 8 733 datos de la velocidad a una altura de 100 m. Estos datos iniciales muestran valores no corregidos, pero se deben usar para obtener los valores ya corregidos por el análisis de frecuencias.

Tabla 3

Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 100m

Parámetros	
VAL_MAX	25,72
VAL_MIN	0,00
RANGO	25,72
MEDIANA	1,94
VEL_MED_AN	24,79
DESV_TIP	0
MUESTRA	8739
K=intervalo	14
A=amplitud	2
e=eulier	2,71
v3=	2366,34

En la tabla 4, se procede con la determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados; se estableció los límites superior e inferior para establecer la velocidad máxima y mínima del recurso eólico. La comprobación de los cálculos en este proceso se realiza cuando la frecuencia de horas es igual a la cantidad de datos de la base y cuando las frecuencias relativas y absolutas son igual a 1.

Tabla 4*Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados*

Horas	LI	LS	Xi		FREC.		FREC.		Yi	Xi	fiXi	fi,Xi2	fi.Y1	fi.Xi.Yi
			(M/S)	fi	FI	REL	ABS							
0	0,00	1,84	0,92	0	0	0,00	0,00	0,0	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	
108	1,84	3,67	2,75	108	108	0,01	0,01	-4,4	1,0	0,01	0,01	-0,05	-0,05	
372	3,67	5,51	4,59	264	372	0,03	0,04	-3,1	1,5	0,05	0,07	-0,09	-0,14	
750	5,51	7,34	6,43	378	750	0,04	0,09	-2,4	1,9	0,08	0,15	-0,10	-0,19	
1146	7,34	9,18	8,26	396	1146	0,05	0,13	-2,0	2,1	0,10	0,20	-0,09	-0,19	
1962	9,18	11,02	10,10	816	1962	0,09	0,22	-1,4	2,3	0,22	0,50	-0,13	-0,30	
3348	11,02	12,85	11,93	1386	3348	0,16	0,38	-0,7	2,5	0,39	0,98	-0,12	-0,29	
5668	12,85	14,69	13,77	2320	5668	0,27	0,65	0,0	2,6	0,70	1,83	0,01	0,03	
7317	14,69	16,52	15,61	1649	7317	0,19	0,84	0,6	2,7	0,52	1,43	0,11	0,31	
7935	16,52	18,36	17,44	618	7935	0,07	0,91	0,9	2,9	0,20	0,58	0,06	0,18	
8295	18,36	20,20	19,28	360	8295	0,04	0,95	1,1	3,0	0,12	0,36	0,05	0,13	
8499	20,20	22,03	21,11	204	8499	0,02	0,973	1,3	3,0	0,07	0,22	0,03	0,09	
8697	22,03	23,87	22,95	198	8697	0,02	1,00	1,7	3,1	0,07	0,22	0,04	0,12	
8733	23,87	25,70	24,79	36	8733	0,00	1,00	1,7	3,2	0,01	0,04	0,01	0,02	
TOTAL				8733		1				2,54	6,58	-0,28	-0,28	

Una vez obtenidos los parámetros de Weibull se realiza el ajuste de los parámetros iniciales, la tabla 5 indica los valores corregidos, este ajuste es hecho por mínimos cuadrados indicados en la tabla anterior.

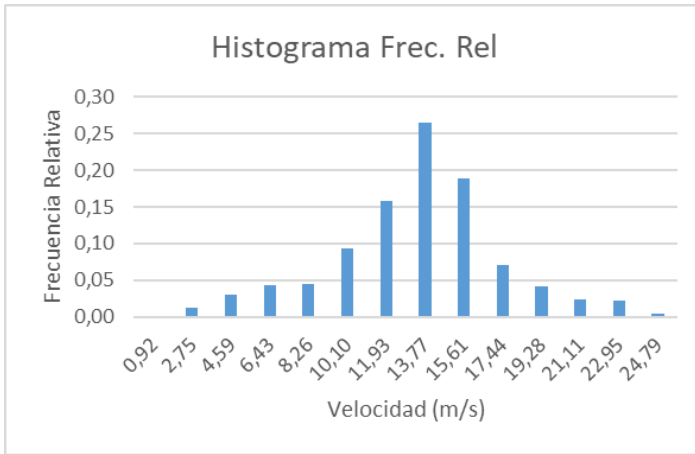
Tabla 5*Resultado del ajuste por mínimos cuadrados*

Ajuste por mínimos cuadrados		
A	3,2	
B	-8,4	
k	3,2	
c	13,8	
F energía	1,2	
vel.med.an	12,4	m/s
mediana	3,0	
moda	3,63	
Desv. Est.	16,81	
Vel. Efi	12,99	m/s

La figura 22 proyecta el histograma de frecuencias relativas. Este diagrama se realizó en función de la velocidad y la frecuencia relativa, teniendo el mayor punto de producción a una velocidad de 13,77 m/s.

Figura 22

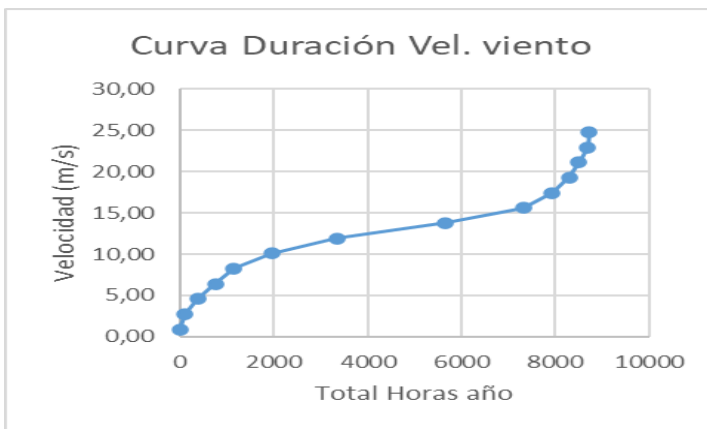
Histograma de frecuencia Relativa



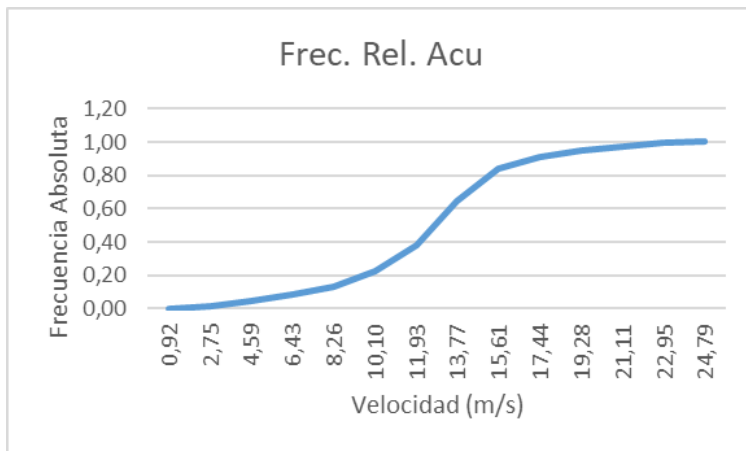
La duración del viento es proyectada en la figura 23, este diagrama es la relación entre el total de datos de la base (8 733) y la velocidad del viento a los 100 m de altura. Teniendo como resultado un potencial constante de viento entre las 2 000 horas hasta las 5 800 horas. El número de datos es basado en un promedio horario durante el año.

Figura 23

Curva de duración del viento a 100m de altura



La figura 24 es la relación de la frecuencia absoluta y la velocidad del viento, el resultado muestra una estabilización de la potencia desde los 15 m/s.

Figura 24*Histograma de la frecuencia relativa acumulada*

4.2.2.3 Diseño de producción energética

Con la cuantificación de energía producida por el viento a 100 m de altura, se realizó el cuadro de consumo energético de la residencia para establecer los equipos y características a usarse para la producción energética del hogar.

Tabla 6*Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario*

CANTIDAD	ELECTRODOMESTI COS	POTENCIA (w)	POTEN CIA (kw)	HORA	kwh/dia	kwh/ mes	COSTO MENSUAL
				DIA DE USO			
2	Refrigeradora	300	0,3	5,0	3,0	90,0	9,0
3	Televisión	50	0,05	3,0	0,5	15,0	1,4
1	Equipo de Sonido	45	0,045	1,0	0,0	1,4	0,1
3	Computadora	250	0,25	2,0	1,5	45,0	4,5
1	Microondas	700	0,7	0,3	0,2	6,0	0,5
1	Licuadaora	400	0,4	0,3	0,1	3,0	0,4
1	Horno Inducción	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
1	Plancha	1000	1,0	1,0	1,0	30,0	3,0
1	Lavadora	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
10	Focos	10	0,01	6,0	0,6	18,0	1,8
12	Toma Corrientes	15	0,02	2,0	0,4	12,0	1,1
TOTAL			6,1		9,5	286,4	28,4

Con un consumo diario de 9,5 kWh se elige un aerogenerador o varios, dependiendo de la potencia que suministre cada equipo. En este caso de estudio se eligió un aerogenerador de

eje horizontal de marca AtlasX, también equipos a ser instalados como reguladores, inversores. La tabla 7 demuestra la característica de la potencia de los equipos que deben instalarse, mientras que la tabla 8 muestra la potencia generada por el aerogenerador en un tiempo de 24 horas.

Tabla 7

Producción diaria de aerogenerador AtlasX

vi	vf	f	P (W)	h/DIA	Wh/d
11,83	61,83	0,00	0	0	0,00
61,83	111,83	0,00	0	3	0,00
111,83	161,83	0,00	200	2	0,00
161,83	211,83	0,00	400	0	0,00
211,83	261,83	0,00	600	0	0,00
261,83	311,83	0,00	800	0	0,00
311,83	361,83	0,00	1000	0	0,00
361,83	411,83	0,80	1400	19	26966,32
411,83	461,83	0,00	2000	0	0,00
461,83	511,83	0,00	4000	0	0,00
511,83	561,83	0,00	4000	0	0,00
561,83	611,83	0,00	4000	0	0,00
611,83	661,83	0,00	0	0	0,00
661,83	711,83	0,00	0	0	0,00
TOTAL		1,00		24,00	26966,32

Tabla 8

Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía

Dimensionamiento	
Aerogenerador	AtlasX
n	0,95
Energía	11,83 kwh
Intensidad	1,0 Ah
Horas-Dia	6,74
Pi	1754,41 wh
Ic	146,20 A
Pg	1754,41 W
Regulador	24,4 A
Prf. Desc. Bat	50 %
Pinv	6447,4 w

4.2.2.4 Selección de equipos y potencias

La tabla 9 muestra el equipo, marca y potencia a instalar para la producción energética de la micro red a una altura de 15m.

Tabla 9

Equipos para instalación eléctrica de la micro red eólica

Equipo	Marca	Potencia
Aerogenerador	Atlas X	4 000 W
Regulador	Blue Solar PMW Light	30 A
Acumulador	Litio Square	12 V
Inversor	Power Star	1000 W

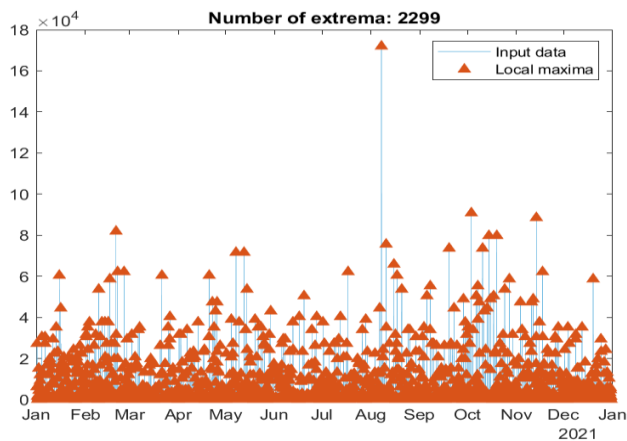
4.2.3 Selección de puntos a 57m de altura

4.2.3.1 Potencia generada a 57m de altura

La figura 25 muestra una mayor cantidad de potencial eólico en los meses de agosto hasta a noviembre; 2 299 datos son la mayor capacidad que se genera durante 1 año de evaluación a los 57 m de altura, la cantidad de datos es en relación de las horas, teniendo un total de 8 733 horas, lo que corresponde a un 25% de potencial máximo.

Figura 25

Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021



4.2.3.2 Frecuencias relativas y absolutas de la base de datos

La siguiente tabla 10, muestra los parámetros iniciales obtenidos de la base de datos, estos valores deben ser corregidos por un análisis de Weibull y después realizar un ajuste por mínimos cuadrados.

Tabla 10

Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 57m

Parámetros	
VAL_MAX	21,68
VAL_MIN	0,00
RANGO	21,68
MEDIANA	1,63
VEL_MED_AN	20,89
DESV_TIP	0
MUESTRA	8739
K=intervalo	14
A=amplitud	2
e=eulier	2,71828
v3=	1417,01

Se analizaron los 8 733 datos para obtener la distribución de Weibull, la tabla 10 proyecta la velocidad mínima y máxima en sus límites superior e inferior, de esta manera se comprueba la normalidad de los datos; en sus frecuencias relativa y absoluta no debe existir un valor mayor que 1.

Tabla 11*Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados*

Horas	LI	LS	Xi		FREC.		FREC.		Yi	Xi	fiXi	fi,Xi2	fi.Y1	fi.Xi.Yi
			(M/S)	fi	FI	REL	ABS							
0	0,00	1,55	0,77	0	0	0,00	0,00	0,0	-0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
108	1,55	3,10	2,32	108	108	0,01	0,01	-4,4	0,8	0,01	0,01	-0,05	-0,05	-0,05
372	3,10	4,64	3,87	264	372	0,03	0,04	-3,1	1,4	0,04	0,06	-0,09	-0,13	-0,13
750	4,64	6,19	5,42	378	750	0,04	0,09	-2,4	1,7	0,07	0,12	-0,10	-0,18	-0,18
1146	6,19	7,74	6,96	396	1146	0,05	0,13	-2,0	1,9	0,09	0,17	-0,09	-0,17	-0,17
1962	7,74	9,29	8,51	816	1962	0,09	0,22	-1,4	2,1	0,20	0,43	-0,13	-0,27	-0,27
3348	9,29	10,83	10,06	1386	3348	0,16	0,38	-0,7	2,3	0,37	0,85	-0,12	-0,27	-0,27
5668	10,83	12,38	11,61	2320	5668	0,27	0,65	0,0	2,5	0,65	1,60	0,01	0,03	0,03
7317	12,38	13,93	13,15	1649	7317	0,19	0,84	0,6	2,6	0,49	1,25	0,11	0,29	0,29
7935	13,93	15,48	14,70	618	7935	0,07	0,91	0,9	2,7	0,19	0,51	0,06	0,17	0,17
8295	15,48	17,02	16,25	360	8295	0,04	0,95	1,1	2,8	0,11	0,32	0,05	0,13	0,13
8499	17,02	18,57	17,80	204	8499	0,02	0,973	1,3	2,9	0,07	0,19	0,03	0,09	0,09
8697	18,57	20,12	19,34	198	8697	0,02	1,00	1,7	3,0	0,07	0,20	0,04	0,11	0,11
8733	20,12	21,67	20,89	36	8733	0,00	1,00	1,7	3,0	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02
TOTAL				8733		1				2,37	5,75	-0,28	-0,23	

Una vez obtenidos los parámetros de Weibull se realiza el ajuste de los parámetros iniciales, la tabla 12 indica los valores corregidos, este ajuste es hecho por mínimos cuadrados indicados en la tabla 11.

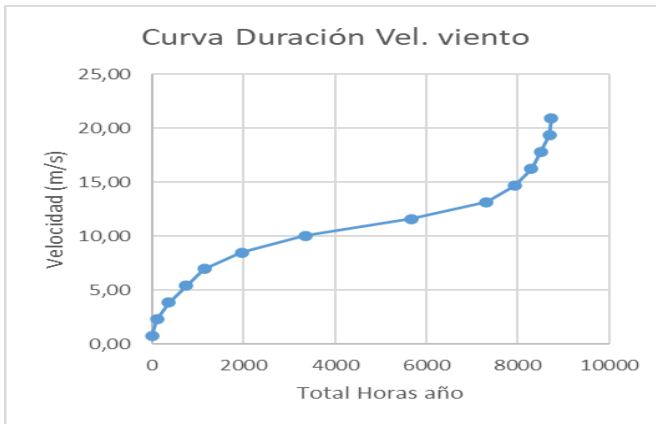
Tabla 12*Resultado del ajuste por mínimos cuadrados*

Valores Finales	
A	3,2
B	-7,9
k	3,2
c	11,7
F energía	1,2
vel.med.an	10,4 m/s
mediana	2,5
moda	3,63
desv. Est	14,12
Vel. Efi	10,96 m/s

Para comprobar su normalidad comprobamos sus histogramas. La figura 26, de la curva de relación del viento muestra una secuencia de normalidad de la velocidad del viento entre la hora 2 800 hasta la hora 8 000 con una velocidad constante durante este tiempo de 11 m/s.

Figura 26

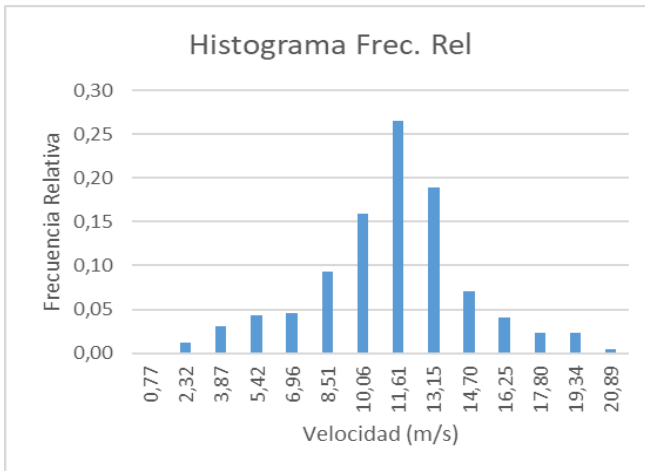
Curva de duración del viento a 57m de altura



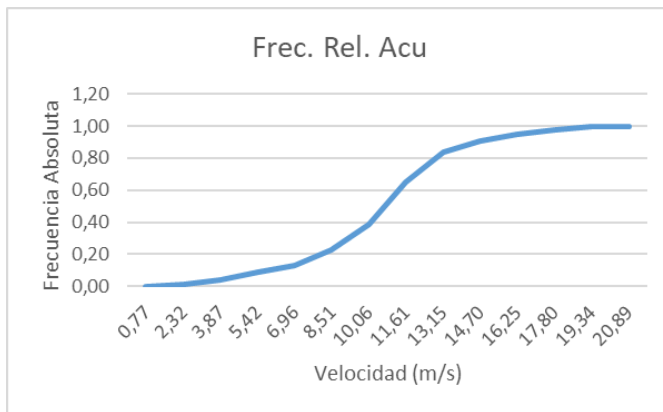
El histograma de frecuencias relativas proyectado en la figura 27, se realizó en función de la velocidad y la frecuencia relativa, teniendo el mayor punto de producción a una velocidad de 13,77m/s.

Figura 27

Histograma de frecuencia relativa



La figura 28 es la relación de la frecuencia absoluta y la velocidad del viento, el resultado muestra una estabilización de la potencia desde los 13 m/s.

Figura 28*Frecuencia relativa acumulada*

4.2.3.3 Diseño de producción energética

Con la cuantificación de energía producida por el viento a 57 m de altura, se realizó el cuadro de consumo energético de la residencia (tabla 13) para establecer los equipos y características a usarse para la producción energética del hogar.

Tabla 13*Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario*

CANTIDAD	ELECTRO DOMÉSTICOS	POTENCIA (w)	POTENCIA (kw)	HORAS DIARIAS DE USO	kwh/dia	kwh/mes	COSTO MENSUA
2	Refrigeradora	300	0,3	5,0	3,0	90,0	9,0
3	Televisión	50	0,05	3,0	0,5	15,0	1,4
1	Equipo de Sonido	45	0,05	1,0	0,0	1,4	0,1
3	Computadora	250	0,25	2,0	1,5	45,0	4,5
1	Microondas	700	0,7	0,3	0,2	6,0	0,5
1	Licuada	400	0,4	0,3	0,1	3,0	0,4
1	Horno Inducción	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
1	Plancha	1000	1,0	1,0	1,0	30,0	3,0
1	Lavadora	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
10	Focos	10	0,1	6,0	0,6	18,0	1,8
12	Toma Corrientes	15	0,2	2,0	0,4	12,0	1,1
TOTAL			6,1		9,5	286,4	28,4

Con un consumo diario de 9,5 kWh se eligió 2 aerogeneradores. En este caso de estudio se eligió aerogeneradores de eje horizontal ENAIR 70PRO de 5 kWh y equipos que serán instalados como reguladores, inversores. La tabla 14 demuestra la característica de la potencia

de los equipos que deben instalarse, mientras que la tabla 15 muestra la potencia generada por el aerogenerador en un tiempo de 24 horas.

Tabla 14

Producción diaria de aerogenerador ENAIR 70PRO

vi	vf	f	P w	h/DIA	wh/d
0,00	1,55	0,00	0,00	0	0,00
1,55	3,10	0,49	0,00	0	0,00
3,10	4,64	0,51	500,00	5	6097,46
4,64	6,19	0,00	1000,00	0	0,00
6,19	7,74	0,00	1500,00	0	0,00
7,74	9,29	0,00	2000,00	0	0,00
9,29	10,83	0,00	2500,00	0	0,00
10,83	12,38	0,81	3000,00	19	58382,51
12,38	13,93	0,00	4000,00	0	0,00
13,93	15,48	0,00	5000,00	0	0,00
15,48	17,02	0,00	5000,00	0	0,00
17,02	18,57	0,00	5000,00	0	0,00
18,57	20,12	0,00	0,00	0	0,00
20,12	21,67	0,00	0,00	0	0,00
TOTAL			1,00	24	64479,98

Tabla 15

Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía

Dimensionamiento	
Aerogenerador	ENAIR 70PRO
n	0,95
Energía	11,83 kwh
Intensidad	1,0 Ah
Horas-Dia	12,90
Pi	917,15 wh
Ic	76,43 A
Pg	917,15 W
Regulador	24,4 A
Prf. Desc. Bat	50 %
Pinv	6447,4 w

4.2.3.4 Selección de equipos y potencias

La tabla 16 muestra el equipo, marca y potencia a instalar para la producción energética de la micro red a una altura de 57 m.

Tabla 16

Equipos para instalación eléctrica de la micro red eólica

Equipo	Marca	Potencia
Aerogenerador	Enair 70 Pro Enair 70 Pro	10 000 W
Regulador	Blue Solar PMW Light	30 A
Inversor	Power Star	1000 W

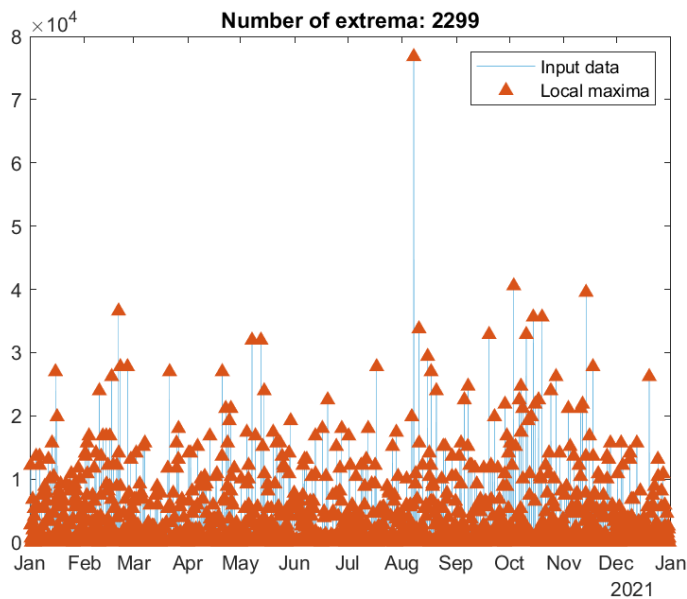
4.2.4 Selección de puntos a 15m de altura

4.2.4.1 Potencia generada a 15m de altura

La figura 29 muestra una mayor cantidad de potencial eólico en los meses de agosto hasta mayo; 2 299 datos son la mayor capacidad que se genera durante 1 año de evaluación a los 57 m de altura, la cantidad de datos es en relación de las horas, teniendo un total de 8 733 horas, lo que corresponde a un 25% de potencial máximo.

Figura 29

Puntos de mayor generación de potencia eólica durante el año 2021



4.2.4.2 Frecuencias relativas y absolutas de la base de datos

La tabla 17 muestra los parámetros iniciales obtenidos de la base de datos, estos valores deben ser corregidos por un análisis de Weibull y después realizar un ajuste por mínimos cuadrados.

Tabla 17

Mínimos cuadrados obtenidos de la base de datos a una altura de 15m

Parámetros	
VAL_MAX	7,82
VAL_MIN	0,00
RANGO	7,82
MEDIANA	1,22
VEL_MED_AN	7,53
DESV_TIP	0
MUESTRA	8739
K=intervalo	14
A=amplitud	1
e=eulier	2,71828
v3=	66,56

Se analizaron los 8 733 datos para obtener la distribución de Weibull, la tabla 18 proyecta la velocidad mínima y máxima en sus límites superior e inferior, de esta manera se comprueba la normalidad de los datos; en sus frecuencias relativa y absoluta no debe existir un valor mayor que 1.

Tabla 18*Determinación de los parámetros de Weibull por mínimos cuadrados*

Horas	LI	LS	Xi (M/S)	fi	FI	FREC. REL	FREC. ABS	Yi	Xi	fiXi	fi, Xi2	fi.Y1	fi.Xi.Yi
0	0,00	0,56	0,28	0	0	0,00	0,00	0,0	1,3	0,00	0,00	0,00	0,00
108	0,56	1,12	0,84	108	108	0,01	0,01	-4,4	0,2	0,00	0,00	-0,05	0,01
372	1,12	1,67	1,40	264	372	0,03	0,04	-3,1	0,3	0,01	0,00	-0,09	-0,03
750	1,67	2,23	1,95	378	750	0,04	0,09	-2,4	0,7	0,03	0,02	-0,10	-0,07
1146	2,23	2,79	2,51	396	1146	0,05	0,13	-2,0	0,9	0,04	0,04	-0,09	-0,08
1962	2,79	3,35	3,07	816	1962	0,09	0,22	-1,4	1,1	0,10	0,12	-0,13	-0,14
3348	3,35	3,91	3,63	1386	3348	0,16	0,38	-0,7	1,3	0,20	0,26	-0,12	-0,15
5668	3,91	4,46	4,19	2320	5668	0,27	0,65	0,0	1,4	0,38	0,54	0,01	0,02
7317	4,46	5,02	4,74	1649	7317	0,19	0,84	0,6	1,6	0,29	0,46	0,11	0,18
7935	5,02	5,58	5,30	618	7935	0,07	0,91	0,9	1,7	0,12	0,20	0,06	0,10
8295	5,58	6,14	5,86	360	8295	0,04	0,95	1,1	1,8	0,07	0,13	0,05	0,08
8499	6,14	6,70	6,42	204	8499	0,02	0,973	1,3	1,9	0,04	0,08	0,03	0,06
8697	6,70	7,25	6,98	198	8697	0,02	1,00	1,7	1,9	0,04	0,09	0,04	0,08
8733	7,25	7,81	7,53	36	8733	0,00	1,00	1,7	2,0	0,01	0,02	0,01	0,01
TOTAL				8733		1				1,35	1,95	-0,28	0,06

Una vez obtenidos los parámetros de Weibull se realiza el ajuste de los parámetros iniciales, la tabla 19 indica los valores corregidos, este ajuste es hecho por mínimos cuadrados indicados en la tabla anterior.

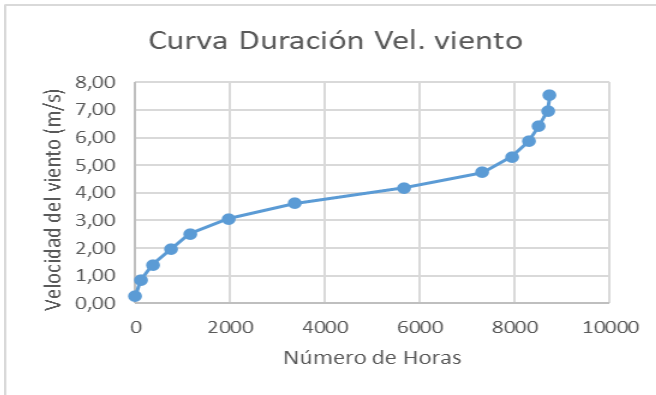
Tabla 19*Resultado del ajuste por mínimos cuadrados*

Ajuste por cuadrados		
A	3,2	
B	-4,6	
k	3,2	
c	4,2	
F energía	1,2	
vel.med.an	3,8	m/s
mediana	0,9	
moda	3,63	
desv. Est	5,12	
Vel. Efi	4,00	m/s

Para comprobar su normalidad comprobamos sus histogramas. La figura 30, de la curva de duración del viento muestra una secuencia de normalidad de la velocidad del viento entre la hora 2 000 hasta la hora 2 800 con una velocidad constante durante este tiempo de 3,6 m/s.

Figura 30

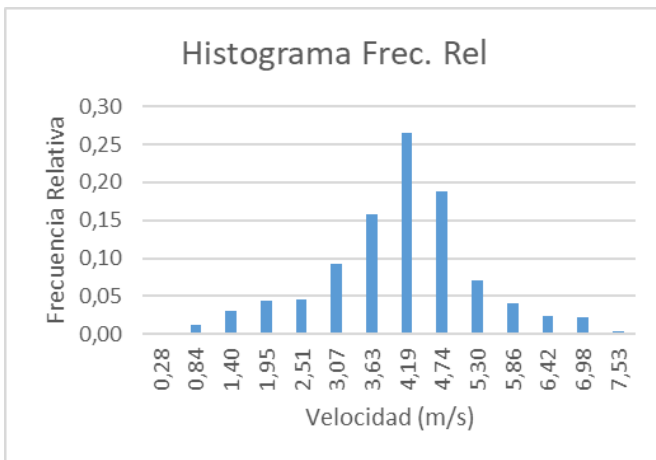
Curva de relación del viento a 15m de altura



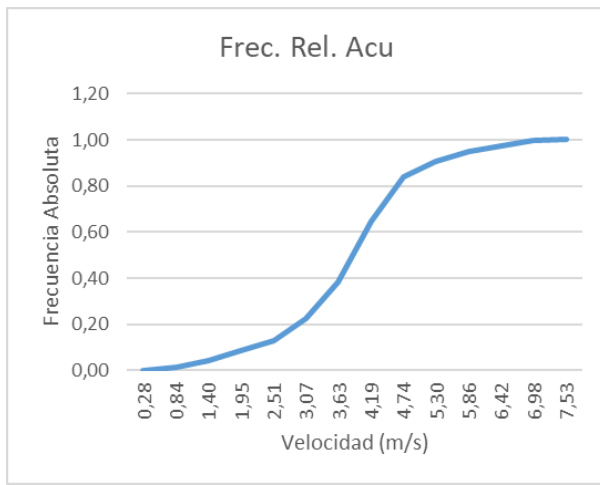
El histograma de frecuencias relativas proyectado en la figura 31, se realizó en función de la velocidad y la frecuencia relativa, teniendo el mayor punto de producción a una velocidad de 4,19 m/s.

Figura 31

Histograma de frecuencia relativa



La figura 32 es la relación de la frecuencia absoluta y la velocidad del viento, el resultado muestra una estabilización de la potencia en los 5 m/s.

Figura 32*Frecuencia Relativa acumulada*

4.2.4.3 Diseño de producción energética

Con la cuantificación de energía producida por el viento a 15m de altura, se realizó el cuadro de consumo energético de la residencia (tabla 20), para establecer los equipos y características a usarse para la producción energética del hogar.

Tabla 20*Consumo energético de una residencia de la parroquia El Sagrario*

Cant	Electrodomésticos	Potencia (W)	Potencia (kW)	Horas diarias de uso	kWh/día	kWh/mes	Costo mensual
2	Refrigeradora	300	0,3	5,0	3,0	90,0	9,0
3	Televisión	50	0,05	3,0	0,5	15,0	1,4
1	Equipo de Sonido	45	0,045	1,0	0,0	1,4	0,1
3	Computadora	250	0,25	2,0	1,5	45,0	4,5
1	Microondas	700	0,7	0,3	0,2	6,0	0,5
1	Licadora	400	0,4	0,3	0,1	3,0	0,4
1	Horno Inducción	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
1	Plancha	1000	1,0	1,0	1,0	30,0	3,0
1	Lavadora	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
10	Focos	10	0,01	6,0	0,6	18,0	1,8
12	Toma Corrientes	15	0,02	2,0	0,4	12,0	1,1
TOTAL			6,1		9,5	286,4	28,4

Con un consumo diario de 9,5 kWh se elige un aerogenerador, dependiendo de la potencia que suministre cada equipo. En este caso de estudio se eligió un aerogenerador de eje horizontal ENAIR 200L de 1 kWh y equipos que serán instalados como: reguladores, inversores. La tabla 21 demuestra la característica de la potencia de los equipos que deben instalarse, mientras que la tabla 22 muestra la potencia generada por el aerogenerador en un tiempo de 24 horas.

Tabla 21

Producción diaria de aerogenerador ENAIR 200L

vi	vf	f	P w	h/DIA	wh/d
0	0,56	0,00	0	0,04	0
0,56	1,12	0,01	0	0,31	0
1,12	1,67	0,04	2000	0,89	1777,77
1,67	2,23	0,07	2500	1,74	4355,72
2,23	2,79	0,11	3000	2,71	8125,08
2,79	3,35	0,15	4000	3,53	14118,28
3,35	3,91	0,16	5500	3,93	21607,78
3,91	4,46	0,22	7000	5,39	37699,05
4,46	5,02	0,13	8000	3,04	24295,42
5,02	5,58	0,09	10000	2,07	20744,85
5,58	6,14	0,05	10000	1,18	11771,67
6,14	6,70	0,02	10000	0,55	5462,89
6,70	7,25	0,01	0	0,20	0,00
7,25	7,81	0,00	0	0,06	0,00
TOTAL		1,00		24	149958,51

Tabla 22

Cuadro de potencia sugerida para la micro red de energía

Dimensionamiento	
Aerogenerador	ENAIR 200L
n	0,95
Energía	11,83 kwh
Intensidad	1,0 Ah
Horas-Dia	15,00
Pi	788,72 wh
Ic	65,73 A
Pg	788,72 W
Regulador	24,4 A
Prf. Desc. Bat	50 %
Pinv	6447,4 w

4.2.4.4 Selección de equipos y potencias

La tabla 23 muestra el equipo, marca y potencia a instalar para la producción energética de la micro red a una altura de 15m.

Tabla 23

Equipos para instalación eléctrica de la micro red eólica

EQUIPO	MARCA	POTENCIA
Aerogenerador	ENAIR 200L	1000 W
Regulador	BlueSolar PMW light	30 A
Acumulador	Litio Square	12 V
Inversor	PowerStar	1000

4.5 Cuantificación de la energía producida por la micro red

Para saber la cantidad de energía que producirá la micro red eléctrica en 3 tipos de altura, se realiza una operación de cálculo. Se multiplica la potencia instalada por el tiempo que está establecido en horas totales en un mes y el factor de uso que es el porcentaje de mayor consumo energético en la ciudad de Ibarra (tabla 24). Este factor es establecido por la empresa eléctrica de la ciudad y la potencia total es la multiplicación de la potencia mensual por los 12 meses.

Tabla 24

Potencia generada por la micro red en los 3 puntos de estudio

Altura (m)	Pot Ins (w)	Tiempo	Factor de uso	Potencia TT	Potencia kwh/mes	Potencia kwh/año
15	788,82	720	0,6	340770,24	340,8	4089
57	917,15	720	0,6	396208,8	396,2	4755
100	1754,41	720	0,6	757905,12	757,9	9095

4.5.1 Análisis económico de la micro red eléctrica

En el análisis económico de una micro red eléctrica se debe conocer los costos de materiales y servicios de construcción, además el consumo energético de la residencia, obteniendo el coste necesario para una micro red.

➤ **Diseño de la micro red eólica conectada a la red para el sector residencial de la parroquia El Sagrario**

Para el diseño se analiza el consumo de energía eléctrica de la residencia, se realiza el dimensionamiento de los equipos que se utilizarán en estas instalaciones. Como resultado se obtuvo que se necesita un aerogenerador de eje horizontal para cubrir la demanda eléctrica del domicilio. Este tipo de instalación va a estar conectado a la red pública porque los equipos que se escogió cumplen con los requisitos eléctricos establecidos por la empresa distribuidora de energía EMELNORTE, al mismo tiempo se cumple con la normativa del ARCONEL: “Marco normativo de la generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica” porque se está suministrando energía a un solo domicilio y la generación de la residencia va a ser de 330 W, ya que el límite permitido es hasta un megavatio. Para implementación de estos sistemas eólicos se debe notificar a la empresa distribuidora de energía eléctrica EMELNORTE para el proceso de conexión a la red pública y cambio del medidor bidireccional, de hecho, este tipo de trámites no tienen costo.

4.5.2 Análisis de la viabilidad económica de las micro redes eólicas asistidas.

➤ **Inversión fija**

En la sección anterior se muestra una tabla de resumen de los equipos necesarios y costos fijos para la implementación de las microrredes eólicas asistidas para la residencia, además está incluido el precio de servicio de instalación de los equipos eléctricos.

➤ **Costos operativos**

En este apartado se detalla los gastos de servicio básico y mantenimiento que van a ocupar para la operación de las micro redes eólicas asistidas. Para obtener el valor de mantenimiento se basó en la metodología del Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, en la tabla 13 se muestra el valor económico para realizar el mantenimiento a estas instalaciones. En la tabla 14 se muestra el servicio básico que va a utilizar estas instalaciones, cabe mencionar que se trabaja con el precio venta de la empresa distribuidora de agua potable (EMAPA) para obtener el gasto de dicho servicio.

➤ Proyección de ingresos

Los ingresos representan el ahorro económico que genera estas instalaciones, para obtener dicho valor se debe multiplicar el consumo total de energía de la residencia por el precio de venta de la energía para el sector residencial que establece Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL). No se utiliza el precio de la energía eólica que establece la regulación “009/06 precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales” este proyecto no va a vender energía eléctrica a la parroquia, por lo contrario, va a cubrir la demanda energética del sector residencial. Por otra parte, el costo de la energía eléctrica generada por las centrales eólicas es de \$0,091 USD/kWh.

Tabla 25

Costo de servicios básicos de un sistema eólico

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	Cs/Mes	Cs/Año
Agua	m3	1	5	60
Luz	Kwh	0	15	180
Internet	u	1	22	264
Telf.	Min	1	7	84
Total, servicios básicos			49,00	588,00

➤ Mano de obra

La empresa proveedora de aerogeneradores será la encargada de realizar la instalación de estos. Se va a capacitar a los habitantes de la residencia en cómo realizar el mantenimiento preventivo para estas instalaciones. Y para el mantenimiento correctivo, se contrata los servicios de un ingeniero eléctrico, los costos de esta mano de obra calificada están incluidos en los costos operativos, que se ejecutan una vez al año.

➤ Modelo de Financiamiento

El análisis financiero muestra la viabilidad económica del proyecto, se determina el capital necesario, su adquisición tasa de interés para la inversión, para este proyecto la inversión la cubre un préstamo del banco, con una tasa interés del 5,73% para un periodo de 5 años.

➤ Flujo de caja

En el flujo de caja se detalla los egresos e ingresos de dinero, para el proyecto se utilizó un periodo de 25 años, también se toma en cuenta el impuesto a la renta que es el 22% de la utilidad bruta y la tasa descuento calculada del 14%, lo cual significa la tasa de interés del dinero actual que recibiremos en el año 25. Los indicadores financieros de los resultados del flujo de caja indican que los valores; el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno son negativos (Tabla 27), significa que no se recuperará la inversión, ni genera beneficio económico. Motivos por los cuales el proyecto no es rentable son: la energía eléctrica en Ecuador está subsidiada por el gobierno, es decir el costo real del kWh residencial es de 0,70 USD/kWh y el gobierno subsidia a 0,092 USD/kWh (ARCONEL,2022), el costo de la tecnología importada es alta ya que no cuenta con exoneración de impuestos por ser tecnología amigable con el ambiente como los países miembros de la Unión Europea (Parlamento Europeo, s. f.), además este proyecto será financiado completamente con deuda bancaria a cinco años y no se consideró un porcentaje de capital privado en la inversión, sin embargo los pasivos del proyecto son bajos y precio de la energía eléctrica puede variar.

Tabla 26

Indicadores financieros

Detalle
Tasa de descuento
VAN
TIR
ROTACIÓN DE LA INVERSIÓN
FLUJO NETO DEL PROYECTO
ROI
ROA
RATIO DE ENDEUDAMIENTO
ROS
ROE

Por otro lado, en la tabla 23 se muestra los resultados de los indicadores financieros para los precios de energía eléctrica aplicados en este estudio, el VAN y TIR son negativos, significa

que no recupera la inversión, ni genera rentabilidad económica, a diferencia de los precios de resultado real donde el TIR es mayor que el VAN, indica recupera la inversión, pero la ganancia económica va a ser menor que la inversión; en caso de que se pagará la energía eléctrica sin subsidio a 1,48 USD/kWh a una altura de 100m. Conforme el Decreto Ejecutivo No. 451-A del ARCONEL-2022 se obtendrá los mismos resultados que la sección anterior.

Tabla 27

Indicadores financieros de la micro red eólica a distintas alturas.

Detalle	15m de altura	57m de altura	100m de altura
	Resultado Real	Resultado Real	Resultado Real
Tasa de descuento	0,13	14%	14%
VAN	-56.375,16	\$-359.420,20	\$-8.491.714,19
TIR	0,00	0%	63%
Rotación de la inversión	-0,30	-0,73	-0,22
FLUJO NETO DEL PROYECTO	-76.402,20	-155.618,18	-13.428.482,63
ROI	-4,46	-0,58	-7,32
ROA	-10,31	-2,41	-13,19
RATIO DE ENDEUDAMIENTO	-0,17	-1,11	-0,02
ROS	-6,57	-1,54	-8,41
ROE	0,85	0,85	0,85

4.5.3 Análisis de viabilidad económica de la micro red eólica

➤ Inversión Inicial

En las secciones anteriores se muestran los datos económicos reales y los datos económicos aceptables para obtener un ingreso aceptable en el proyecto de la micro red eólica. El precio de la inversión para la instalación de equipos a una altura de 15m es de 18 817 dólares estadounidenses. A los 57 m de altura la inversión inicial es de 234 163,89 dólares estadounidenses y a los 100 m de altura la inversión es de 1.832.909,41 dólares estadounidenses. El precio de instalación de estos sistemas a diferentes alturas depende de la demanda energética que tiene la residencia.

➤ **Costo operativo**

Este apartado se detalla los gastos de los servicios básicos y mantenimiento que van a ocupar para la operación de las microrredes eólicas conectadas a la red, para obtener valor el mantenimiento se toma como referencia proyectos realizados en el país, en la tabla 24 se muestra el valor económico para realizar el mantenimiento para este tipo de Microred. También se muestra los servicios básicos que va a utilizar estas instalaciones, cabe indicar que está cubriendo el 70% de la demanda eléctrica de las viviendas, además se trabajó con el precio que vende la empresa distribuidora de agua potable EMAPA y el precio actual de la energía eléctrica para el sector residencial que establece Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL) para así obtener los gastos de los servicios básicos.

➤ **Proyección de ingresos**

Los ingresos son el ahorro económico que genera estas instalaciones, para obtener dicho valor se debe multiplicar el consumo total de energía de la casa por el precio de venta de la energía para el sector residencial que establece Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL), como resultado se obtuvo 355,6 dólares estadounidenses. No se utiliza el precio de la energía eólica que establece la regulación “009/06 precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales” ya que este proyecto no va a vender energía eléctrica a la residencia, por lo contrario, va a cubrir la demanda energética del sector residencial. Por otra parte, el costo de la energía eléctrica generada por las microrredes eólicas es de \$0,70 USD americanos.

➤ **Mano de obra**

Para la implementación de esta Microred se contrata personal calificado, motivo que debe implementar varios parámetros de seguridad en los diferentes tipos de altura. Cuando sobrepasa los 50 m de altura se requiere de personal calificado en manejo de grúas y trabajadores expertos en altura. Para el mantenimiento preventivo como correctivo se contrata servicios de ingeniería especializada para realizar la actividad.

➤ **Modelo de financiamiento**

El análisis financiero muestra la viabilidad económica del proyecto, se determina el capital necesario, su adquisición tasa de interés para la inversión, para este proyecto la inversión la cubre un préstamo del banco, con una tasa interés del 5% para un periodo de 5 años.

Tabla 28

Ahorro Económico de la micro red eólica conectada a la red

Detalle	Unidad	Demanda de energía (kWh/año)	Precio Energía (\$/kWh)	Ahorro Anual (USD)
Microred Eólica	[u]	3 406	0,1044	355,6

➤ **Flujo de caja**

En el flujo de caja se detalla los egresos e ingresos de dinero, para el proyecto se utilizó un periodo de 25 años, también se toma en cuenta el impuesto a la renta que es el 22% de la utilidad bruta y la tasa descuento calculada del 14%, lo cual significa la tasa de interés del dinero actual que recibiremos en el año 25. Los indicadores financieros de los resultados del flujo de caja indican que los valores; el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno son negativos, señala que no recuperará la inversión, ni genera beneficio económico, el motivo del proyecto no es rentable debido a que la energía eléctrica en Ecuador está subsidiada por el gobierno, es decir el costo real del kWh residencial es de 0,70 USD/kWh y el gobierno subsidia 0,092 USD/kWh (ARCONEL, 2022), además este proyecto será financiado completamente con deuda bancaria a cinco años y no se consideró un porcentaje de capital privado en la inversión, sin embargo, los pasivos del proyecto son bajos y precio de la energía eléctrica puede variar.

Por otro lado, en la tabla 28 se muestra los resultados de los indicadores financieros para la generación de energía eléctrica a distintas alturas que se utilizaron para este estudio, se obtuvo para el precio de 0,09 USD/kWh el VAN y TIR son negativos, señala que no recupera la inversión, ni generar la rentabilidad económica, mientras para obtener el VAN y TIR positivos la velocidad del viento se debe triplicar en las 3 alturas, de esta manera el análisis económico es viable, también se debe tomar en cuenta el caso de que se pagará la energía eléctrica sin subsidio a 0,70 USD/kWh conforme el Decreto Ejecutivo No. 451-A del ARCONEL-2022 se recupera la inversión del proyecto, además generará una rentabilidad aceptable, cabe recalcar

que la distribuidora no paga los excedentes inyectados a la red, pero si existe un balance neto en el sistema eléctrico que favorece la interconexión.

Tabla 29

Indicadores financieros de la micro red eólica con la velocidad del viento triplicada.

Detalle	15m de altura	57m de altura	100m de altura
	Resultado Factible	Resultado Factible	Resultado Factible
Tasa de descuento	14%	14%	14%
VAN	\$19.447,93	\$498.586,30	\$-3.551.401,27
TIR	34%	47%	12%
ROTACIÓN DE LA INVERSIÓN	0,88	0,53	-0,52
FLUJO NETO DEL PROYECTO	77.665,83	1.587.800,02	-3.390.060,45
ROI	4,53	6,01	-1,84
ROA	0,38	0,70	-0,24
RATIO DE ENDEUDAMIENTO	0,18	0,11	-0,07
ROS	0,25	0,45	-0,16
ROE	0,85	0,85	0,85

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- La factibilidad de la micro red eólica es aceptable a una altura de 57m y 100m sobre la superficie. El promedio de la velocidad del viento a los 57m de altura es de 3,32m/s y el promedio a los 100 m de altura es de 4,25 m/s. Generando la potencia necesaria para el consumo energético de una casa.
- El consumo eléctrico en la residencia es de 3,4 MW/año. La potencia que genera anualmente a una altura de 15 m es de 0,9 MW, producción que no cubre la demanda energética en su totalidad, pero al ser una micro red conectada al SNI, aportaría con el 26% de la demanda del hogar. mientras que la potencia generada a los 57 m es de 31,13 MW/año, producción que supliría al consumo energético de aproximadamente 10 hogares. Y la producción energética a los 100 m es de 2 798,8 MW al año que cubriría la demanda de aproximadamente 1 000 hogares.
- En el análisis económico, los valores reales no representan un ingreso positivo significando que los ingresos por la instalación y producción no son rentables. Todo esto debido a la baja producción de electricidad por la velocidad del viento y el subsidio a la energía eléctrica en el país.

2. Recomendaciones

- Realizar un estudio de diseño para la parte rural, ya que tiene diferente geografía y el consumo energético de un hogar en la zona rural es muy distinto a un consumo energético de la zona urbana
- Buscar nuevas tecnologías con acceso económico para el lugar a instalar debido a que el costo por producción eólica es de aproximadamente 0,40 USD/kWh mientras que la energía suministrada por EMELNORTE es de aproximadamente 0,10 USD/kWh.
- Usar los aportes de esta investigación para la implementación de micro redes de energías renovables en la zona estudiada, así como también optar como guía para futuros estudios eólicos en las zonas urbanas o rurales que opten por abastecimiento de energía eléctrica.

Bibliografía

- Alsehlli , F., & Makhalas, K. (2014). *Wind Power*. Blekinge Institute of Technology.
- Archer, C. (2015). *Evaluation of Global Wind Power*.
- ARCONEL. (2016). *Regulación Eléctrica*. Obtenido de Regulación Eléctrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf>
- Castillo, E. (2016). Problemática en torno a la Construcción de Parques Eólicos en el Istmo de Tehuantepec. *DELOS*, 14.
- Cedar Lake Ventures, Inc. (18 de Julio de 2022). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/20035/Clima-promedio-en-Ibarra-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Sources>
- Chachapoya Veloz, C. A. (2014). *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- De Física Ambiental, C. (2014). *Energía Eólica*. Obtenido de Energía Eólica.
- Development Bank Of Latin American. (2017). *Latin American & The Caribbean Energy Scenarios*.
- Eulalia, M. (2018). ¿Cómo se forma el viento? *El Telégrafo*.
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/energy/home/es/>
- GAD IBARRA. (2018). *ACTUALIZACION DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON IBARRA*. Ibarra.
- González, M. (23 de Febrero de 2008). Energía Eólica una Solución para Imbabura. *La Hora*, pág. 1.
- Guney, T. (2015). *Renewable Energy, non-Renewable Energy and Sustainable Development*.
- Hernández, Q., Espinoza, F., Saldaña, R., & Rivera, C. (2011). Evaluación del Potencial Eólico para la generación de Energía Eléctrica en el Estado de Veracruz México. *SCIELO*, 7.
- IDAE. (2016). Energía Eólica. En IDAE.
- IEA. (2020). *Global Energy Review*.
- INEC. (2014). *Nueva Cara Demográfica de Ecuador*. Quito: Analitika.
- IRENA. (2020). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de International Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/wind>

- Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D. (2011). The Wind Energy Revolution: A short review of a long history. *ELSEVIER*.
- Karacsonyi, J. (2013). *Panorama Energético Mundial: Un Desafío Para la Ingeniería*.
- López, L. A. (2017). *Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar*. Manizales: Universidad de Manizales.
- MEER. (2017). *Informe de Rendición de Cuentas*.
- Merino, L. (2012). *Energías Renovables Para Todos*. Madrid: Iberdrola.
- Meteoblue. (s.f.). *Meteoblue*. Obtenido de www.meteoblue.com
- Mignorance, A. (2015). *Viabilidad del Desarrollo Sostenible en un Mundo Insolitario: Consumo Energético e Impacto Ambiental*.
- Mingtian, L. (2013). *Wind Power Doctoral Thesis*.
- Moragues, J., & Rapallini, A. (2013). *Energía Eólica*. Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía.
- Morales, C., Eraso, F., Escobar, E., & Paz, D. (2017). Metodología para la Determinación de Características del Viento y Evaluación del Potencial de Energía Eólica en Tuquerres-Nariño. *SCIELO*, 13.
- NREL. (2020). *NREL Transforming Energy*. Obtenido de NREL Transforming Energy: <https://www.nrel.gov/analysis/research.html>
- Olesker, L. (2018). *Matemática*. Obtenido de Matemática.
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de Prácticas Climatológicas*. OMM.
- Palesse, C., & Lassig, J. L. (2017). *Caracterización del Recurso Eólico*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- Pilicita, A., & Cevallos, D. (2019). Technological Innovation of a Comprehensive System to Monitor Electric Consumption. *INGENIUS*.
- Quaschnig, V. (2016). *Understanding Renewable Energy Systems*. New York: Taylor and Francis Group.
- Ramos, J. A., & Sarmiento, A. (2014). *Utilización de la Escala Beaufort en la Determinación del Potencial Eólico*.
- Rehman, S., Halawani, T. O., & Mohandes, M. (2013). Wind Power Cost Assessment at Twenty Locations in the Kingdom Of Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 11.

- Rojas, J. I., & Amezcua, J. M. (2015). Origen Y Expansión de los Molinos de Viento en España. *SCIELO*.
- Román, J. E., & Villacrés, K. E. (2012). *Metodología Para la Evaluación del Recurso Eólico*.
- Ruales, E. (2014). *Diseño de un sistema de abastecimiento eléctrico residencial en base a la utilización de un prototipo de energía eólica*. Quito.
- Saenz, C. (2016). *Utilización agroindustrial del nopal*. Roma : Organizacion de las naciones unidas para la agricultura y ganaderia .
- Salah, M., Leila, G., & Benaissa, B. (2020). *Evaluation of the Wind Potential and Optimal Design of a Wind Farm in the Arzew Industrial Zone in Western Algeria*.
- Sánchez, G. C. (2016). *Valoración de la producción de biogás durante un proceso de digestión anaerobia con contenido ruminal de origen bovino bajo condiciones de tiempo, carga y temperatura diferenciales*. Manizales Colombia: Universidad de Manizales. Obtenido de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2771/Ramirez_Sanchez_Gloria_pdf.2016%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Saucedo, L., & Bosques, J. L. (2012). *Electricidad Básica*.
- Secretaria de Energía de Argentina. (2010). *Energías Renovables*. Buenos Aires: Secretaria de Energía.
- Talayero, A. (2012). *Energía Eólica*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources*. New York: E&FN Spon Ltd.
- Ullauri, J., Cepeda, A., & Arcos, M. (2016). *Generación del sistema nacional Interconectado en Ecuador*.
- UNNE. (2016). *Antecedentes de los aerogeneradores europeos*.
- Vera, W. (2012). *Medida y Tratamiento de los Datos Eólicos*.
- Villarubia Cervantes, M. (2013). *Ingeniería de la Energía Eólica*.
- Villarubia López, M. (2013). *Ingeniería de la Energía Eólica*.
- Villarubia, M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona: Marcombo.
- Weather Spark*. (2021). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/20035/Clima-promedio-en-Ibarra-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

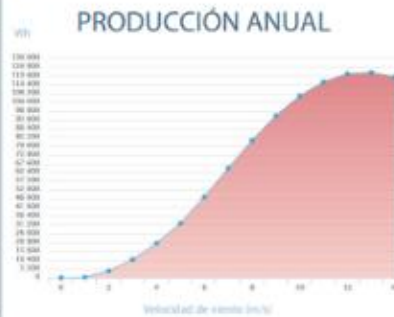
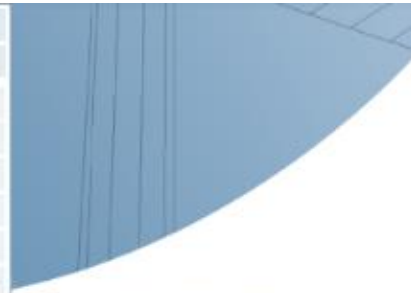
ANEXOS

Anexo 1. Consumo de electrodomésticos de la residencia de la parroquia El Sagrario

Cant	Electrodomésticos	Potencia (W)	Potencia (Kw)	Horas Diarias De Uso	Kwh/Dia	Kwh/Mes	Costo Mensual
2	Refrigeradora	300	0,6	5,0	3,0	90,0	9,0
3	Televisión	50	0,2	3,0	0,5	13,5	1,4
1	Equipo de Sonido	45	0,0	1,0	0,0	1,4	0,1
3	Computadora	250	0,8	2,0	1,5	45,0	4,5
1	Microondas	700	0,7	0,3	0,2	5,3	0,5
1	Licuadora	400	0,4	0,3	0,1	4,0	0,4
1	Horno Inducción	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
1	Plancha	1000	1,0	1,0	1,0	30,0	3,0
1	Lavadora	1100	1,1	1,0	1,1	33,0	3,3
10	Focos	10	0,1	6,0	0,6	18,0	1,8
12	Toma Corrientes	15	0,2	2,0	0,4	10,8	1,1
TOTAL			6,1		9,5	283,9	28,4

Anexo 2. Ficha de aerogenerador ENAIR 200L

GENERADOR	Potencia nominal	20kW
	Configuración	3 fases- 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal, sotavento
	Potencia nominal	18kW - IEC 61400
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad de rotación	120rpm
	Inicio de rotación	1,85m/s
	Corte de producción	30m/s
	Protección	Ip - 65 / alta protección ambiental
	Peso	1000kg
	Orientación	Orientación aerodinámica
ROTOR	Diámetro	9,8m
	Área de barrido	75,4m ²
	Longitud de pala	4,5m
	Material de la pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
	Tipo de control	Paso variable activo, regulación electrónica y freno
SISTEMA DE SEGURIDAD DE FRENADO	Paso	Paso variable con control activo
		Por viento y potencia
	Freno	Freno electro-mecánico de seguridad
	Control electrónico de:	Velocidad de viento Temperatura (opc.) Frecuencia Voltaje Fallo en la red Fallo de sensores
CONTROL DE LA TURBINA	Sistema electrónico	Sistema programable para adaptar la turbina Registro de alarmas
	Software	Software personalizado. Pantalla general de datos (opc.)
INVERSOR	Inversor	Compatible con los inversores solares de tensión constante a 500V

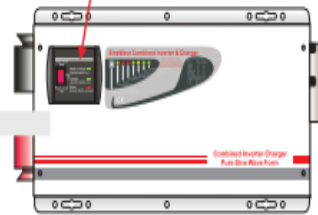


Anexo 3. Ficha técnica del inversor powerstar 1000w

General specification		Ordering Information	
Input Wave form:	Sine wave(utility or generator)	Typical part number ▶	PS W7 -S -20 -12 -E
Nominal voltage:	120VAC 230VAC	1. Basic Series	PS W7 = Combined Inverter & Charger
Low voltage trip:	85v ± 4% 184v/154v ± 4%	2. Waveform	S = Pure Sinewave Q = Quasi Sinewave
Low voltage re engage:	95v ± 4% 194v/164v ± 4%	3. Power Rating	10 = 1000W 20 = 2000W 30 = 3000W 40 = 4000W 50 = 5000W 60 = 6000W
High voltage trip:	135v ± 4% 263v ± 4%	4. Battery Voltage	12 = 12VDC 24 = 24VDC 48 = 48VDC
High voltage re engage:	127v ± 4% 253v ± 4%	5. AC Voltage	E = 230VAC NC = 120VAC
Max input AC voltage:	150VAC 270VAC	6. Suffixe	00 = Standard model 01 = Customer model
Nominal input frequency:	50Hz or 60Hz (auto detect)		
Low freq trip:	47 Hz for 50 Hz, 57Hz for 60Hz		
High freq trip:	55 Hz for 50 Hz, 65Hz for 60Hz		
Output wave form:	(Bypass mode) same as input		
Overload protection:	Circuit breaker		
Short circuit protection:	Circuit breaker		
Transfer switch rating:	30 amp or 40 amp		
Efficiency on line transfer mode:	95%+		
Line transfer time:	10 ms typical		
Bypass without battery connected:	Yes		
Max bypass current:	30 amp or 40 amp		
Bypass over load current:	35 amp or 45 amp: alarm		
Inverter Specification / output			
Output wave form:	Pure sine wave or quasi sine wave		
Output continuous power watts:	1000 2000 3000 4000 5000 6000		
Output continuous power VA:	1000 2000 3000 4000 5000 6000		
Power factor:	0.9-1.0		
Nominal output voltage rms:	120Vac(L-N), 230Vac(L-N), 120Vac(N-H)/ 230Vac(H-H)		
Output voltage regulation:	+/- 10% rms		
Output frequency:	50Hz ± 0.3Hz or 60Hz ± 0.3Hz		
Nominal efficiency:	>88%		
Surge ratings:	3000 6000 9000 12000 15000 18000		
Short circuit protection:	Yes, fault after 10 secs		
Inverter specification / input			
Nominal input voltage:	12v 24v 48v		
Minimum start voltage:	10v 20v 40v		
Low battery alarm:	10.5v 21v 42v		
Low battery trip:	10v 20v 40v		
High voltage alarm:	16v 32v 64v		
Power saver:	Below 25 watts when enabled		
Power saver:	Same switched on/off on remote		
Charger mode specification			
Input voltage range:	95-127VAC 194-253VAC/ 164-253VAC(W)		
Output voltage:	Dependent on battery type		
Charge current:	35A / 70A		
Battery initial voltage for start up:	0-15.7v for 12v(*2 for 24v; *4 for 48v)		
Over charge protection shutdown:	15.7v for 12v(*2 for 24v; *4 for 48v)		
Charger curves (4 stage constant current) battery types			
4 step digital controlled progressive charge			
Battery type: (*2 for 24v; *4 for 48v)			
1-6 bat. type selector for ups mode		7-9 bat. trip selectors for solar inv. mode	
Position	Fast V	Float V	Low Battery Trip High Battery Trip
0: Not used			7: 11V 14V
1: Gel U.S.A	14.0	13.7	8: 10.5V 13.5V
2: A.G.M.1	14.1	13.4	9: 10V 13V
3: A.G.M.2	14.6	13.7	
4: Sealed lead acid	14.4	13.6	
5: Gel european	14.4	13.8	

Remote control installation

remove 4 screws holding this panel and disconnect the cable behind it



Anexo 4. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 15m de altura

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO		TOTAL AÑOS	%	DEPRECIACIÓN
		UNITARIO	TOTAL			
Aerogenerador	1	1400	1.400,00	25,00	10%	50,40
Computadora	1	1200	1.200,00	5,00	33%	160,80
Herramienta	1	100	100,00	5,00	10%	18,00
Cable eléctrico	100	1,1	110,00	10,00	8%	10,12
Material eléctrico	5	120	600,00	10,00	8%	55,20
Inversor	1	3360	3.360,00	10,00	8%	309,12
Protecciones	1	168	168,00	10,00	8%	15,46
Estructura Soporte	1	70	70,00	40,00	13%	1,52
Regulador MPPT	1	1900	1.900,00	10,00	8%	174,80
TOTAL			8.908,00			620,62

Anexo 5. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 57m de altura.

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO		TOTAL AÑOS	%	DEPRECIACIÓN
		UNITARIO	TOTAL			
aerogenerador	1	150000	150.000,00	25,00	10%	5.400,00
computadora	1	1200	1.200,00	5,00	33%	160,80
herramienta	1	1000	1.000,00	5,00	10%	180,00
cable eléctrico	50	1,1	55,00	10,00	8%	5,06
material eléctrico	5	12000	60.000,00	10,00	8%	5.520,00
inversor	1	3360	3.360,00	10,00	8%	309,12
protecciones	1	1360	1.360,00	10,00	8%	125,12
Regulador MPPT	1	1900	1.900,00	10,00	8%	174,80
TOTAL			218.875,00			11.700,10

Anexo 6. Tabla de resumen de depreciación de equipos y materiales a 100m de altura.

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL	TOTAL AÑOS	%	DEPRECIACIÓN
aerogenerador	1	1.000.000	1.000.000,00	25,00	10%	36.000,00
Estación	1	500.000	500.000,00	5,00	33%	67.000,00
herramienta	1	10.000	10.000,00	5,00	10%	1.800,00
cable eléctrico	50	5.000	250.000,00	10,00	8%	23.000,00
material eléctrico	5	4.000	20.000,00	10,00	8%	1.840,00
inversor	1	3.360	3.360,00	10,00	8%	309,12
protecciones	1	10.000	10.000,00	10,00	8%	920,00
Regulador MPPT	1	1.900	1.900,00	10,00	8%	174,80
TOTAL			1.795.260,00			130.869,12

