



**Estudio para la implementación de un microaerogenerador en la finca La
Bella en zona rural del municipio de Acevedo Huila.**

Victor Daniel Cuenca Cuadros

Código 20451717573

Juan Carlos Ortiz Cuellar

Código 20451716314

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021

**Estudio para la implementación de un microaerogenerador en la finca La
Bella en zona rural del municipio de Acevedo Huila.**

Victor Daniel Cuenca Cuadros

Juan Carlos Ortiz Cuellar

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director:

Magíster Juan Gonzalo Ardila Marín

Línea de Investigación:

Energías Renovables y Evaluación de potencial eólico.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____ ,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____ .

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

	Pág.
Lista de ilustraciones	XII
Lista de tablas.....	XIII
Lista de gráficas	XV
Lista de ecuaciones.....	XVI
Lista de Símbolos y Abreviaturas.....	XVII
Resumen.....	2
Abstract.....	3
Introducción	4
Antecedentes	6
Formulación del problema	8
Objetivos	10
Justificación.....	11
1. Marco teorico	13
1.1 Matriz energética de Colombia.....	13
<i>1.1.1 Metas del gobierno para la matriz energética.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2 Energías convencionales</i>	<i>14</i>
<i>1.1.3 Energías no convencionales</i>	<i>15</i>

1.2	Inclusión de energía eólica en Colombia	17
1.3	Marco legal en energías renovables	19
1.4	Sistema de generación eólica	21
1.4.1	<i>Generador</i>	22
1.4.2	<i>Controlador de carga</i>	23
1.4.3	<i>Inversor</i>	24
1.4.4	<i>Sistema de acumulación de energía</i>	24
1.4.5	<i>Torre</i>	25
1.4.6	<i>Aerogenerador</i>	26
2.	Diseño metodológico	30
	Etapa 1: Recolección de datos que impactan en el sistema de generación eólica.....	30
	Etapa 2: Análisis de los datos recolectados.....	31
	Etapa 3: Selección del microaerogenerador.....	31
	Etapa 4: Selección de los componentes para un sistema de generación eólica.....	32
	Etapa 5: Análisis técnico económico de la solución energética.....	32
3.	Estudios y analisis de resultados.....	33
3.1	Estudio del viento	33
3.1.1	<i>Localización del proyecto</i>	33
3.1.2	<i>Recolección de datos</i>	34
3.1.3	<i>Distribución de Weibull</i>	50
3.1.4	<i>Potencial eólico disponible</i>	53
3.1.5	<i>Potencial eólico máximo</i>	54
3.1.6	<i>Caracterización del potencial energético del viento de la finca La Bella....</i>	55

3.2	Selección del microaerogenerador	61
3.2.1	<i>Caracterización del consumo energético en la finca La Bella</i>	<i>62</i>
3.2.2	<i>Modelos de microaerogeneradores</i>	<i>63</i>
3.2.3	<i>Método multicriterio de apoyo a la decisión</i>	<i>64</i>
3.2.4	<i>Descripción del microaerogenerador seleccionado</i>	<i>73</i>
3.2.5	<i>Cálculo de la potencia máxima del lugar de estudio.....</i>	<i>75</i>
3.2.6	<i>Estimación del suministro de energía.....</i>	<i>75</i>
3.3	Análisis técnico-económico del proyecto	77
3.3.1	<i>Costos asociados al proyecto.....</i>	<i>78</i>
3.3.2	<i>Análisis financiero</i>	<i>80</i>
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	86
4.1	<i>Conclusiones</i>	<i>86</i>
4.2	<i>Recomendaciones</i>	<i>87</i>
A.	Anexo: Resumen de las velocidades del viento	89
B.	Anexo: Resumen de las velocidades del viento	97
	Bibliográficas.....	108

Lista de ilustraciones

		Pág.
Ilustración 0-1:	Ubicación de la finca La Bella municipio de Acevedo Huila.....	8
Ilustración 1-1:	Proyecciones nacionales de demanda energética del 2010 al 2050....	14
Ilustración 1-2:	Eje vertical Savonius.....	27
Ilustración 1-3:	Eje vertical Giromill.	27
Ilustración 1-4:	Eje vertical Darrieus.....	28
Ilustración 1-5:	Eje horizontal multipalas.	28
Ilustración 1-6:	Eje horizontal tripala.	28
Ilustración 1-7:	Eje horizontal bipala.	29
Ilustración 1-8:	Eje horizontal monopala.	29
Ilustración 1-9:	Rendimiento de los tipos de aerogeneradores.....	29
Ilustración 3-1:	Veredas del municipio de Acevedo.	34
Ilustración 3-2:	Anemómetro utilizado para el proyecto UT363-BT.....	35
Ilustración 3-3:	Montaje anemómetro.	35
Ilustración 3-4:	Puntos toma de datos.	37
Ilustración 3-5:	Árbol de jerarquías.....	66

Lista de tablas

		Pág.
Tabla 3-1:	Datos representativos durante el estudio previo punto 1.	38
Tabla 3-2:	Datos representativos durante el estudio previo Punto 2.	39
Tabla 3-3:	Datos representativos durante el estudio previo Punto 3.	40
Tabla 3-4:	Análisis de datos del estudio preliminar.	41
Tabla 3-5:	Datos del viento Mes 1.	42
Tabla 3-6:	Medidas de tendencia central Mes 1.	44
Tabla 3-7:	Tabla de distribución de frecuencia.	44
Tabla 3-8:	Datos del viento Mes 2.	46
Tabla 3-9:	Tabla de medidas de tendencia central Mes 2.	47
Tabla 3-10:	Tabla de distribución de frecuencia Mes 2.	48
Tabla 3-11:	Tabla parámetros de Weibull del Mes 11.	55
Tabla 3-12:	Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 1.	56
Tabla 3-13:	Tabla de probabilidad del viento Mes 1.	57
Tabla 3-14:	Potencial energético Mes 1.	58
Tabla 3-15:	Tabla parámetros de Weibull del Mes 2.	59
Tabla 3-16:	Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 2.	60
Tabla 3-17:	Tabla de probabilidad del viento Mes 2.	60
Tabla 3-18:	Potencial energético Mes 2.	61
Tabla 3-19:	Tabla de consumo eléctrico estimado en la finca La Bella.	62
Tabla 3-20:	Ficha técnica de microaerogeneradores.	63
Tabla 3-21:	Principio de establecimiento de prioridades.	67
Tabla 3-22:	Tabla de comparación de criterios.	68
Tabla 3-23:	Tabla de validación de matriz de criterios.	70
Tabla 3-24:	Tabla de ponderación pareada de alternativas.	70
Tabla 3-25:	Tabla de ponderación pareada de alternativas.	71
Tabla 3-26:	Tabla de comparación de alternativas.	71
Tabla 3-27:	Tabla de resultados.	72

Tabla 3-28:	Ficha técnica del aerogenerador HF4.0-2000W.	74
Tabla 3-29:	Cálculo de potencia máxima.	75
Tabla 3-30:	Tabla de estimación de producción energética.	76
Tabla 3-31:	Costos del proyecto.	78
Tabla 3-32:	Valor estimado del consumo.	80
Tabla 3-33:	Análisis financiero del proyecto.	84

Lista de gráficas

		Pág.
Gráfica 3-1	Velocidades representativas del viento para el Punto 1.....	38
Gráfica 3-2	Velocidades representativas del viento para el Punto 2.....	39
Gráfica 3-3	Velocidades representativas del viento para el Punto 3.....	40
Gráfica 3-4	Velocidad promedio Mes 1.	43
Gráfica 3-5	Gráfica de frecuencia absoluta y acumulada del Mes 1.....	44
Gráfica 3-6	Distribución de Weibull por medio de WAsP del Mes 1.....	45
Gráfica 3-7	Velocidad promedio Mes 2.	47
Gráfica 3-8	Gráfica de frecuencia absoluta y frecuencia relativa acumulada Mes 2.	48
Gráfica 3-9	Distribución de Weibull por medio de WAsP del Mes 2.....	49
Gráfica 3-10	Gráfica de los parámetros de Weibull Mes 1.....	56
Gráfica 3-11	Gráfica de la probabilidad del viento Mes 1.	57
Gráfica 3-12	Gráfica de los parámetros de Weibull Mes 2.....	59
Gráfica 3-13	Gráfica de la probabilidad del viento Mes 2.	60
Gráfica 3-14	Gráfica de nivel de importancia de los criterios.....	69
Gráfica 3-15	Gráfico de resultados.....	73
Gráfica 3-16	Curva de potencia del microaerogenerador HF4.0-2000W.	74
Gráfica 3-17	Gráfica de flujo neto de caja.	85

Lista de ecuaciones

		Pág.
Ecuación 3-1:	Ecuación función probabilidad del viento.....	50
Ecuación 3-2:	Velocidad media anual.....	51
Ecuación 3-3:	Mediana.....	51
Ecuación 3-4:	Varianza.....	51
Ecuación 3-5:	Media anual del cubo de las velocidades.....	51
Ecuación 3-6:	Velocidad eficaz.....	51
Ecuación 3-7:	Velocidad media anual/parámetro c	52
Ecuación 3-8:	Desviación estándar/velocidad media anual.....	52
Ecuación 3-9:	Factor de energía o factor de potencia eólica (Fe).....	52
Ecuación 3-10:	Distribución acumulada.....	52
Ecuación 3-11:	Ajuste por mínimos cuadrados.....	52
Ecuación 3-12:	Factor de escala.....	53
Ecuación 3-13:	Potencia disponible por unidad de área.....	53
Ecuación 3-14:	Densidad del aire.....	53
Ecuación 3-15:	Potencial eólico disponible en función de: $[v^*]$, $\langle V \rangle^3$ y $\langle V^3 \rangle$	54
Ecuación 3-16:	Potencia eólica disponible.....	54
Ecuación 3-17:	Potencia máxima.....	55
Ecuación 3-18:	Relación de consumo vs producción energética.....	77
Ecuación 3-19:	Valor presente neto.....	81
Ecuación 3-20:	Tasa interna de retorno.....	82
Ecuación 3-21:	Periodo de recuperación de la inversión.....	82
Ecuación 3-22:	Índice costo beneficio.....	83

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

<i>Símbolo</i>	<i>Término</i>	<i>Unidad SI</i>	<i>Definición</i>
A	Área	m ²	$A = \frac{\pi}{2} * D^2$
c	Factor de escala	m/s	Ecuación 3-12
D	Diámetro	m	$D = r^2$
F(v)	Distribución acumulada	-	Ecuación 3-10
GWh	mil millones de vatios hora	GWh	$1GWh = 1x10^9Wh$
I C/B	Índice costo beneficio	-	Ecuación 3-22
k	Factor de forma	-	Ecuación 3-11
kW	Mil vatios	kW	$1kW = 1x10^3W$
v	Velocidad del viento	m/s	$V = \Delta s / \Delta t$
MW	Un millón de vatios	MW	$1MW = 1x10^6W$
p(v)	Función de probabilidad del viento	%	Ecuación 3-1
P _a /A	Potencia disponible por unidad de área	W/m ²	Ecuación 3-16
PJ	Petajoule	PJ	$1PJ = 10^{15}GWh$
TIR	Tasa interna de retorno	Um	Ecuación 3-20
Ṽ	Mediana	m/s	Ecuación 3-3
v*	Velocidad eficaz	m/s	Ecuación 3-6
⟨V ³ ⟩	Velocidad media cubica	m/s	Ecuación 3-5
P _{max}	Potencia máxima	W	Ecuación 3-17

Símbolos con letras griegas

<i>Símbolo</i>	<i>Término</i>	<i>Unidad SI</i>	<i>Definición</i>
ρ	Densidad del aire	Kg/m ³	Ecuación 3-14
σ	Varianza	m/s	Ecuación 3-4
Γ(x)	Función gamma	-	$\int_0^{\infty} e^{-z} z^{x-1} dz$

Subíndices

<i>Subíndice</i>	<i>Término</i>
C_p	Coficiente de potencia
Max	Maximo

Abreviaturas

<i>Abreviatura</i>	<i>Término</i>
<i>AGM</i>	Absorbent Glass Mat
<i>CEA</i>	Consumo energético anual
<i>COP</i>	Peso Colombiano
<i>CREG</i>	Comisión de Regulación de Energía y Gas
<i>ECD</i>	Consumo energético diario
<i>FENOGE</i>	fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía
<i>FNCR</i>	Fuentes no convencionales de energía
<i>FN CER</i>	Fuentes no convencionales de energía renovable
<i>h</i>	altura
<i>IC</i>	Índice de consistencia
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>IPSE</i>	Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas
<i>IRENA</i>	International Renewable Energy Agency
<i>IVA</i>	Impuesto al valor agregado
<i>MCDM</i>	Método multicriterio de apoyo a la decisión
<i>msnm</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>n</i>	Numero de criterios
<i>ONU</i>	Organización de naciones unidas
<i>PEEA</i>	Producción de energía eléctrica anual
<i>RIC</i>	Relación entre índices de consistencia
<i>UPME</i>	Unidad de Planeación Minero-Energética
<i>Um</i>	Unidad monetaria
<i>WAsP</i>	Software WAsP Climate Analyst.
<i>Wi</i>	Ponderación

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Si debes hacer algo, hazlo de la mejor manera posible, así tendrás la conciencia tranquila, vive sin remordimientos. A mis padres por sus enseñanzas.

Juan Ortiz

Agradecimientos

El agradecimiento de este proyecto de investigación va dedicado principalmente a Dios por brindarnos la salud, el conocimiento y la fortaleza de seguir adelante a pesar de las adversidades en los últimos años, a nuestros padres por darnos su amor y apoyo incondicional, a pesar de su ausencia en ciertos casos, demostrándonos que en la vida no existen límites, porque al final siempre llega la recompensa. A todos nuestros familiares que nos han brindado su compañía y motivación durante nuestra formación académica.

A nuestros profesores que nos brindaron sus conocimientos, amistad y orientación durante todo nuestro proceso académico y finalmente a nuestros compañeros, amigos, familiares y demás personas que de una u otra manera estuvieron brindando su apoyo y comprensión durante este proceso.

Tienen mi especial gratitud los habitantes del municipio de Acevedo por brindarme un hogar y ofrecer todo su apoyo incondicional a mi familia.

Resumen

El mundo experimenta una gran necesidad de energía eléctrica y las energías alternativas suponen una solución, la ley 1715 de 2014 en Colombia promueve nuevos proyectos de energías renovables, este estudio se desarrolla para brindar una alternativa de solución energética.

El proyecto se dividió en la fase “estudio previo” y “estudio intensivo” contando con las etapas “Mes 1” y “Mes 2”, se recolectaron 95.760 datos en total y se analizaron estadísticamente mediante la distribución de frecuencia, Weibull y WAsP, los resultados obtenidos fueron la velocidad media anual de 5,7 y 6,5 m/s con un potencial eólico de 135,2 y 186,2 W/m^2 respectivamente para cada etapa.

Con el método multicriterio AHP se selecciona el microaerogenerador HF4.0-2000W que produciría 15,31 kWh/día. En conclusión, el proyecto debe ser considerado según el índice de costo beneficio de 1.796 y una tasa de retorno del 21,41% que determinan que la implementación del microaerogenerador es factible.

Palabras clave: Evaluación de potencial eólico, generación eólica, microaerogenerador, métodos multicriterio AHP, análisis financiero.

Abstract

The world experiences a great need for electrical energy and alternative energies represent a solution, Law 1715 of 2014 in Colombia promotes new renewable energy projects, the present study was conducted to provide an alternative solution.

The project was divided into the phases “Estudio previo”, “Estudio intensivo” and two stages “Mes 1” and “Mes 2”, a total of 95.760 were collected and analyzed using the frequency distribution, Weibull and WASP, the Annual Average Wind Speed was 5,7 and 6,5 *m/s* and wind power density of 135,2 and 186,2 W/m^2 respectively for each stage.

With the Multi-Criteria Decision-Making AHP, the micro-wind generator HF4.0-2000W is selected would produce 15.31 kWh/day. In conclusion, the project must be considered according to the Benefit–cost ratio of 1,796 and a rate of return of 21.41% it determines that the implementation of the micro-wind turbine is feasible.

Keywords: Wind potential evaluation, wind generation, micro wind turbine, AHP multicriteria methods, financial analysis.

Introducción

Durante los últimos años el incremento en la población ha aumentado el consumo energético, las tecnologías convencionales para satisfacer esta demanda ha contribuido al deterioro del medio ambiente. Los esfuerzos para combatir esta problemática han tenido lugar en las principales cumbres climáticas desde 1992 con la convención del Marco de naciones unidas sobre el cambio climático CMNUCC que han traído acuerdos e hitos para cada una de las cumbres, podemos destacar el protocolo de Kioto en 1997 el cual pone en marcha un plan para la reducción de emisiones, el acuerdo de París en 2015 en el que se establecen medidas para la reducción de gases de efecto invernadero, actualmente las naciones unidas en acuerdo con sus 193 estados miembros adoptaron un conjunto de objetivos de desarrollo sostenible para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos (Damaris Rozo & José Escobar, 2019).

La preocupación a nivel mundial ha despertado el interés en el desarrollo de proyectos que utilicen fuentes de energía renovables para producir energía eléctrica en Colombia (UPME & Garcia, 2019). Solo el 23% de la energía eléctrica es generada partir de fuentes renovables según estudios realizados por el banco mundial en el año 2015 (Mundial, 2021). El calentamiento global está movilizandando al mundo hacia la sostenibilidad (Rincón, 2018).

En Colombia, la capacidad instalada en 2019 de generación eléctrica correspondió al 68% de energía hidráulica, el 30% a combustibles fósiles y el restante a otros tipos de generación de energía (UPME & Garcia, 2019). Según la UPME, las proyecciones con los incentivos presentados en la ley 1715 de 2014 establecen para el 2030 un crecimiento en la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (UPME, 2014). Esta ley proporciona los mecanismos para que las energías renovables sean una opción real y comercialmente atractiva

para generar energía eléctrica, gracias a esto la energía eólica es una de las de mayor crecimiento, impulsado principalmente por la adopción de políticas energéticas que buscan favorecer y establecer objetivos claros con respecto a la producción de las energías renovables, así como los procesos de innovación en las compañías fabricantes de aerogeneradores para reducir sus costos y mejorar su rendimiento (Guerrero Hoyos et al., 2019).

La presente investigación tendrá como parámetros; el estudio del viento. Durante 1584 horas se recolectarán datos de temperatura y velocidad del viento utilizando el anemómetro UT363BT instalado en una veleta que fue desarrollada y construida por los autores, a fin de mejorar la fiabilidad y calidad de los datos; el enfoque que se tomará para el análisis de los datos será de manera estadística, se tomarán en cuenta los aspectos técnicos, administrativos y financieros para determinar la prefactibilidad del estudio.

La ausencia de estudios eólicos en el municipio de Acevedo presenta la oportunidad para realizar un estudio y sentar bases para futuras investigaciones. a partir del estudio previo desarrollado por los autores para ubicar el emplazamiento del sistema de generación eólica se logró establecer tres puntos potenciales con el fin de iniciar la recolección intensiva de datos durante 2 meses y así cumplir con los objetivos de la investigación.

El objetivo principal de este proyecto es estudiar la prefactibilidad de la implementación de un microaerogenerador en la finca La Bella con el fin de atender la demanda de energía eléctrica y determinar si es rentable realizar la inversión en el proyecto. Cabe aclarar que el sistema eólico deberá tener las siguientes características: Sistema aislado con un microaerogenerador sincrónico de imanes permanentes (no requiere de electricidad para su funcionamiento y el viento proporciona la fuerza para arrancar) con una capacidad de producción de al menos 450 kW al mes, un banco de baterías y un inversor.

Las energías renovables nos permiten contribuir a la disminución del calentamiento global y gases de efecto invernadero, son el vehículo para lograr una transición energética que nos permita alcanzar la carbono neutralidad y el desarrollo sostenible. En el lugar de estudio habitan 4 personas cuya principal labor es el cultivo de café y árboles frutales, el suministro de agua proviene del acueducto de la vereda Anayaco y es muy común que el suministro de agua falle debido a las lluvias y mantenimientos ocasionales, situación que se solucionaría con acceso a la electricidad, ya que el uso de una bomba de agua eléctrica plantearía una solución, del mismo modo la electricidad aumenta la productividad, ya que las labores de una finca cafetera dejan poco tiempo para el desarrollo personal, además el acceso a internet en tiempos del Covid-19 plantea un cambio en los paradigmas desviando la labor social y educativa a entornos virtuales. Por estos motivos es importante contar con suministro eléctrico.

Antecedentes

La generación eólica a nivel mundial según la International Renewable Energy Agency: (IRENA), en el año 2020 la producción de energía eólica alcanzo los 732.4 GW a nivel mundial, lo que representa un crecimiento del 17.8% con respecto al año anterior; entre los continentes que producen energía eólica se destacan Asia y Europa con una producción de 332.2 GW y 207.5 GW respectivamente. Pese a los esfuerzos de los gobiernos en América del Sur, los incentivos para el uso de energías renovables en la producción de energía eólica fue tan solo 24.5 GW, en comparación con el resto del mundo se puede afirmar que se está infravalorando la energía eólica en la región (Renewable & Agency, 2019).

De acuerdo con las mediciones del viento realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en los departamentos de la Guajira, algunas

zonas de Santander, Boyacá y el Huila se cuenta con un gran potencial eólico; puesto que sus velocidades promedio son 10 m/s, 8 m/s, 7 m/s y 7 m/s respectivamente (Franco, 2016).

En Colombia, el parque eólico Jepírachi ubicado en el municipio de Uribia del departamento de la Guajira, tiene una capacidad instalada de 19.5 MW desde el año 2004 (*Parque Eólico Jepirachi*, 2021). El uso de la fuente eólica en Colombia ha sido exitoso, diversos estudios lo demuestran: tales como el estudio realizado por G. Vera en la costa norte colombiana por medio del software WASP y Windografer, utilizando los datos de campo obtenidos gracias al “Anemómetro marca Thies First Class (Suplier: Ammonit GmbH)” por un periodo de 151 días se logró determinar un potencial eólico capaz de producir 22.282 GWh de electricidad anualmente (Geovanni Vera, 2019). El artículo científico realizado por D. Acosta, M. Piza, N Camacho y E. Rúa se destaca por realizar un estudio de factibilidad de generación eólica en la ciudad de Tunja y los parámetros que utilizaron son: requerimiento energético de 231kW mes por vivienda y propone el uso del aerogenerador E30pro de la empresa Enair; la página meteoblue proporcionó los datos de la velocidad del viento por todo un año, en conclusión el estudio no recomienda hacer la inversión ya que la velocidad promedio fue de 3.3 m/s, y el aerogenerador no logra cumplir con las expectativas de producción de energía (Del Carpio Casani et al., 2018). En el proyecto planteado por J Quintero, J Molina y J Serrato en su estudio de viabilidad técnica, la investigación usó datos recolectados por el IDEAM enfocado en el mes de junio, su investigación tomo una dirección principalmente estadística y determinaron una velocidad promedio de 6.95 m/s con lo que seleccionaron el aerogenerador de referencia Gamesa g97, estimando que el proyecto es viable técnicamente ya que el potencial eólico tiene la posibilidad de generar 6.27 GWh anualmente (Quintero Polanco et al., 2016).

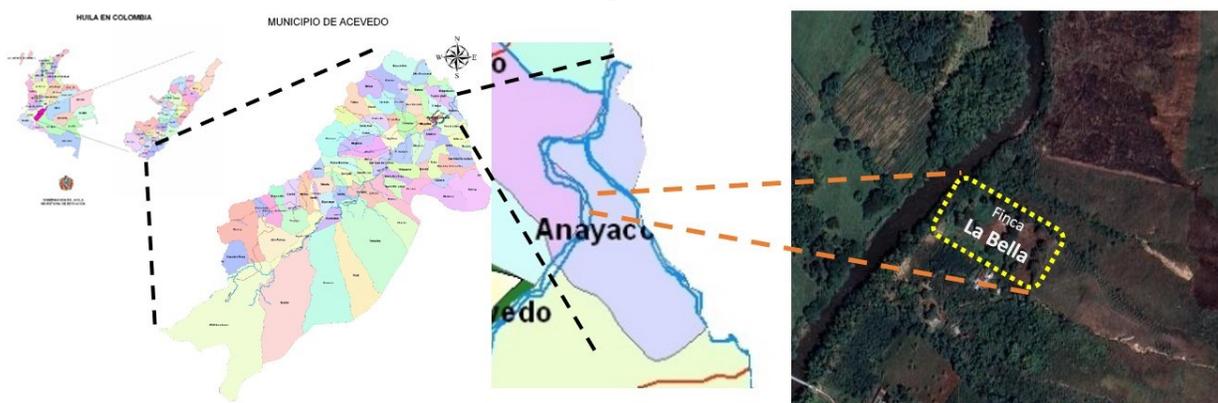
Formulación del problema

Actualmente en zona rural del municipio de Acevedo-Huila en la vereda Anayaco se encuentra una finca ubicada en las coordenadas $1^{\circ}48'46.7''N$ $75^{\circ}52'24.6''W$ (*Ubicación Geográfica*, 2021) en la ilustración 0-1 se aprecia la ubicación del lugar de estudio.

Esta finca no cuenta con suministro de energía eléctrica debido su ubicación geográfica, la ausencia de este servicio de primera necesidad trae dificultades en las actividades relacionadas con el cultivo del café, dentro de las necesidades diarias encontramos electrodomésticos encargados de conservar los alimentos como elementos de primera necesidad, adicionalmente la Covid-19 ha traído una nueva normalidad, en la que el acceso a internet juega un papel importante debido a todas las actividades como pagos, consultas médicas y estudiar, son actividades que requieren del uso de energía eléctrica y conexión a internet, el acceso a la red interconectada nacional requiere de mucha inversión y esfuerzo ya que el terreno no está adecuado para el acceso vehicular y el paso de la red eléctrica se encontraría obstruido por árboles y terrenos privados.

Ilustración 0-1

Ubicación de la finca La Bella municipio de Acevedo Huila.



Nota: (*Ubicación Geográfica*, 2021).

El requerimiento energético se estima en 380 kWh/mes; los equipos que consumen esta electricidad son: una nevera, diez bombillos, dos lámparas Exteriores, un televisor, un motor

para la despulpadora de café, tres cargadores de celular, una moto bomba, un equipo de sonido, una licuadora y una cerca eléctrica.

Para atender la demanda energética existen diferentes soluciones. Como primera solución para el suministro de energía se sugiere utilizar una planta eléctrica a gasolina con 950 W de potencia que requiere 4.2 litros de combustible para ofrecer una autonomía de 4.8 horas aproximadamente lo que representa \$9500 pesos al día y al mes son \$285.000 pesos (*Elite 2G950*, 2021); la ventaja de este método es el costo de mantenimiento e inversión inicial.

Como segunda solución del suministro de energía se puede considerar el uso de energía solar, que ofrece gran adaptabilidad a cualquier terreno y a cualquier requerimiento energético además es una energía limpia sin embargo requiere elevados costos de inversión en los paneles solares y un área extensa para su instalación, adicionalmente se requiere que la luz solar sea constante en todo el año para proporcionar un flujo energético permanente, En Acevedo-Huila, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía considerablemente en el transcurso del año. Según los datos de (Spark, 2021) 4.4 meses corresponde al periodo más despejado, y 7.6 meses corresponde al periodo menos despejado (Paulo AF, 2017).

Como tercera solución la implementación de un sistema hidroeléctrico de tipo rueda hidráulica de Poncelet ya que no altera la corriente fluida del río Suaza el cual está en los límites del terreno que es objeto de estudio, se puede recrear con tecnologías existentes en la región, no obstante se debe invertir en infraestructura para proteger la máquina cuando el nivel del río sube demasiado, además de los elementos sólidos que puedan dañar la rueda hidráulica de Poncelet (Vallejos & Barboza, 2020).

Pese al gran impulso tecnológico del siglo XXI aún existen zonas rurales sin acceso a suministro de energía eléctrica en Colombia, según el informe de telemetría de la IPSE (Instituto

de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas) el 87% de la población que está en zonas no interconectadas corresponden a zonas rurales. En Colombia existen alrededor de 1.710 localidades rurales donde se calcula que 128.057 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día en estas zonas la población ya se ha acostumbrado al racionamiento y a las pocas horas del recurso eléctrico al día (Vivas, 2019). Por último, el municipio de Acevedo cuenta con una superficie de 612 km cuadrados que alberga a una población de 36.649 personas distribuidas entre los 11 corregimientos, con 81 veredas.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar la prefactibilidad de implementación de un microaerogenerador en la finca La Bella en zona rural del municipio de Acevedo huila.

Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general de la investigación, han sido formulados tres objetivos específicos.

- Realizar el estudio del viento en la finca La Bella para reafirmar el potencial del recurso eólico.
- Seleccionar un microaerogenerador que cumpla con las características requeridas para satisfacer la demanda energética, utilizando el método multicriterio de apoyo a la decisión.
- Realizar un análisis técnico-económico con relación al proceso de generación y transformación de energía.

Justificación

El acceso a la energía eléctrica es uno de los aspectos más importantes para tener un buen nivel de vida. ya que gracias a ella se pueden realizar los trabajos con mayor facilidad, reduciendo el tiempo dedicado y, consecuentemente, aumentando la efectividad de los procesos, contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida del ser humano, que puede dedicar más tiempo a su desarrollo personal y familiar. Sin embargo, en muchas zonas rurales del país, no se cuentan con estos beneficios de suministro eléctrico.

Para realizar la conexión a la red eléctrica es necesario la implementación de infraestructura y el alto costo debe ser asumido por el beneficiario, por este motivo no es rentable adquirir los servicios de electrificadora además, la distancia que existe entre transformador más cercano y el terreno es considerable lo que generará un sobre costo en las facturas debido a las pérdidas (ElectroHuila, 2021).

El acceso a la energía eléctrica permite realizar trabajos con mayor facilidad, reduciendo el tiempo dedicado y aumentando la efectividad de los procesos, contribuyendo a la mejora de la calidad de vida del ser humano que puede dedicar más tiempo a su desarrollo personal y familiar.

Las energías no convencionales como la energía eólica están en la mira en todo el país gracias a los objetivos fijados por el gobierno que buscan garantizar el suministro de energía eléctrica a toda la población. La implementación de un microaerogenerador que funcione en la finca tiene el potencial de volverse una tendencia en la región que se vea reflejada en la ejecución de nuevos proyectos (*Clima Acevedo*, 2021).

La principal motivación para el desarrollo del presente trabajo de grado de Ingeniería Mecánica, en la línea de profundización de energía, es realizar un estudio para la implementación de un microaerogenerador ubicado en la finca la Bella en zona rural no interconectada para

atender la demanda de energía eléctrica. Así, se puede determinar si es factible realizar la inversión para la implementación del sistema aislado de energía eólica por medio del microaerogenerador. Adicionalmente, este estudio contribuye a que futuras investigaciones, utilizando otras fuentes de energías limpias, se realicen en la región (Torres, 2016). La energía eólica es la energía obtenida del viento y tiene la gran ventaja de ser una energía renovable, su fuente es inagotable, no contamina, reduce las importaciones energéticas y el uso de combustibles fósiles (Salvador Pardillos, 2017).

1. Marco teórico

1.1 Matriz energética de Colombia

En esta sección se presenta un análisis de la matriz energética en Colombia, ya que representa un punto de partida para el Gobierno, que plantea unas metas para combatir el calentamiento global, y la diversificación de la matriz energética con las energías renovables jugaran un papel importante.

1.1.1 Metas del gobierno para la matriz energética

La organización de las Naciones Unidas frente a la problemática del cambio climático desarrolló importantes reuniones y en la cumbre del 2015 surgió el acuerdo de París y fue firmado el 22 de abril de 2016, este tratado tiene el objetivo de reducir el calentamiento global a menos de 2° C. En respuesta a este acuerdo jurídicamente vinculante el Gobierno colombiano estableció unas metas a lograr para el 2030 y 2050 (Naciones Unidas, 2015).

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) adscrita al Ministerio de minas y energía, cuya misión es realizar la planeación del desarrollo sostenible de los sectores de minas y energía en Colombia. De acuerdo al “MAPA ENERGÉTICO DE COLOMBIA 2019 – 2050” de la UPME, los objetivos del plan energético nacional comprenden asegurar el suministro energético y así establecer la energía como motor del desarrollo económico y prosperidad social teniendo en cuenta la gestión ambiental del sector energético, de esta forma se asegura la cobertura de servicios y productos energéticos, dentro de un marco inclusivo y del desarrollo territorial, la eficiencia energética, la integración energética subnacional y el entorno del usuario juegan un papel importante en la gestión del riesgo ya que hacen parte de la identificación de

actores y los responsables tanto de impactos ambientales como externalidades (UPME & Garcia, 2019).

Ilustración 1-1

Proyecciones nacionales de demanda energética del 2010 al 2050.



Nota: (UPME & Garcia, 2019).

1.1.2 Energías convencionales

Las fuentes de energía convencionales son aquellas que se encuentran en cantidades limitadas en la naturaleza, se clasifican en dos categorías según su extracción: los combustibles fósiles y los nucleares. En Colombia un gran porcentaje de la generación de energía eléctrica corresponde a la generación térmica donde se presentan beneficios positivos en cuanto a los costos, sin embargo, el costo medioambiental desafortunadamente es elevado.

- Termoeléctricas a gas

Su funcionamiento consiste en dar alta presión a un flujo de aire que es calentado a partir de la quema de combustible luego estos gases se hacen pasar por una turbina, la cual impulsa un

generador que transforma la energía mecánica en electricidad. Las plantas térmicas del país que conforman el sistema hidro térmico de generación eléctrica y trabajan con gas natural, según la UPME aportaron el 15% de la energía eléctrica en Colombia para el año 2019 (UPME, 2019).

Los departamentos que utilizan el gas en mayor proporción para generación térmica son:

Atlántico, Antioquia, Meta, Bolívar, la Guajira, Caldas y Magdalena respectivamente (Alcocer, 2021).

- Termoeléctricas a partir de combustibles fósiles

Las termoeléctricas a carbón y derivados del petróleo en general trabajan gracias a la combustión directa, que consiste en quemar combustible en una caldera para calentar agua y generar vapor a presión, este vapor a alta presión es conducido a una turbina que transforma la presión del fluido en movimiento rotativo y de esta forma el eje de la turbina que está conectado a un generador eléctrico produce electricidad. La energía generada es conducida a una subestación para elevar su voltaje y reducir las pérdidas en el transporte por la red eléctrica. De acuerdo a la UPME en Colombia las termoeléctricas a partir de combustibles fósiles en el 2019 tenían la capacidad instalada de: carbón 9%, Acpm 5% y combustóleo 2% (UPME & Garcia, 2019).

1.1.3 Energías no convencionales

Las fuentes no convencionales de energía (FNCE) son aquellos recursos de energía disponibles que son ambientalmente sostenibles, sin embargo, son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

- Energía hidráulica

La energía hidráulica es una energía no convencional y puede ser renovable o no renovable, es renovable cuando su aprovechamiento se basa en cuerpos de agua a pequeña escala, estas no generan un impacto medioambiental tan alto como las no renovables, un ejemplo son las hidroeléctricas a gran escala como la represa de Betania y el Quimbo.

Las centrales hidroeléctricas tienen como fin el aprovechamiento de la energía potencial del agua retenida en un embalse, esta es conducida por tuberías de alta presión directamente para hacer girar una turbina, transmitiendo movimiento al eje de un alternador para producir electricidad, sin embargo para lograr este aprovechamiento es necesario crear embalses o lagos artificiales lo cual implica afectaciones medioambientales e impactos a las comunidades que residen en la zona; según la UPME en Colombia el 68% de la electricidad generada en 2019, fue a partir de las 30 centrales hidroeléctricas instaladas en el país (UPME & Garcia, 2019).

- Energía solar

La energía solar puede aprovecharse de varias formas, tales como los sistemas de: concentración térmica; que aprovechan la energía de la radiación solar y la concentran en un solo punto, calentando el fluido de trabajo que usualmente es agua, este calor eleva la temperatura y la presión convirtiendo el fluido en vapor, el cual mueve una turbina a vapor conectada a un generador eléctrico.

Los sistemas fotovoltaicos convierten la radiación solar en corrientes eléctricas a través de un material semiconductor. No obstante, existen diversos tipos de paneles solares, las más comercializadas son los fabricados en silicio cristalino, sin embargo, existen paneles con mejor eficiencia, estos utilizan combinaciones de cobre, indio, selenio y telurio de cadmio, su

utilización se ve marginada debido a su alto costo de fabricación y las limitaciones de tipo medioambiental (Rodríguez Murcia, 2008).

Según la UPME la capacidad de generación eléctrica a partir de energía solar fue de 8.06 MW correspondiente al 0.03% de la capacidad total instalada en Colombia para el 2019. El principal potencial de la energía eólica en el país se encuentra en la Guajira, estudios demuestran que la radiación solar podría producir $2000 \text{ kWh}/\text{m}^2$ anualmente (Rodríguez Murcia, 2008).

- Energía eólica

Los generadores eólicos aprovechan la energía cinética del viento que pasa entre las aspas del generador, provocando un giro sobre el eje de un rotor normalmente conectado a una caja de velocidades, que al mismo tiempo transforma el movimiento en energía eléctrica, generalmente estos generadores se ubican de manera que aprovechen al máximo la energía del viento. Los generadores pueden ser ubicados en tierra firme o en plataformas oceánicas.

El recurso eólico está disponible en todo Colombia sin embargo se destacan regiones como: la Guajira, El Caribe, Santander y Norte de Santander, y en algunas zonas específicas de Risaralda, Tolima, Valle del Cauca, Huila y Boyacá (Franco, 2016).

Según la UPME Colombia cuenta con una capacidad instalada de 18,42 MW utilizando tecnología eólica, aunque se proyectan 17 proyectos. El parque eólico Jepírachi, está ubicado en el municipio de Uribia del departamento de la Guajira, está funcionando desde abril de 2004; contribuyendo a la diversificación de la matriz energética en Colombia (UPME & Garcia, 2019).

1.2 Inclusión de energía eólica en Colombia

En Colombia gran parte de la energía eléctrica proviene de fuentes hídricas, desafortunadamente se pueden presentar casos en los que la ausencia de lluvias hagan descender

el nivel de los embalses, por esta razón el Gobierno se vio en la obligación de aplicar contingencias para tener seguridad energética, por este motivo las plantas de generación térmica que se encuentran en espera juegan un papel importante en el abastecimiento del recurso, sin embargo el impacto medioambiental y el coste operativo de dichas plantas es elevado, de esta forma con la ley 1715 del 2014 se busca aumentar la producción de electricidad a partir de energías renovables por medio de incentivos y exclusión de impuestos (UPME, 2014).

Colombia tiene un enorme potencial para la producción de energía renovable, pese a contar con incentivos previos para el desarrollo, actualmente solo una planta de energía eólica está en funcionamiento y tienen una capacidad nominal instalada de 19,5 MW. La disminución en los costos de instalación de plantas eólicas y solares ha permitido en los últimos años incrementar el acceso a tecnologías en el exterior para la implementación de energías renovables no convencionales (Lopez Lezama et al., 2017).

La preocupante ausencia de proyectos eólicos en Colombia, sin desmeritar el parque eólico de Jepírachi, demuestra la existencia de barreras burocráticas que demoran y encarecen los proyectos, afectando la viabilidad de estos. Diferentes factores como, la difícil negociación con las comunidades de la región, la falta de infraestructura para el transporte de la energía eléctrica hacia el interior del país, la ausencia de normativas y regulaciones que impulsen la inclusión viable de este tipo de fuentes energéticas, genera dificultades.

Las razones para considerar el desarrollo de proyectos eólicos en zonas potenciales como la Guajira, es una oportunidad de desarrollo que traerá beneficios para el país, que justifican gastos y esfuerzos. El proyecto Jepírachi está en capacidad de sustituir por ejemplo parte del gas natural que es utilizado para la generación de energía eléctrica. Además, diversificar la matriz energética para mejorar la calidad de vida de la población, reducir la contaminación, brindar

energía en zonas no interconectadas y garantizar la disponibilidad de la energía, son argumentos fundamentales para una vida digna y la economía del país (UPME & Garcia, 2019).

De acuerdo con lo anterior, para lograr cambios en la regulación, que promuevan y puedan garantizar tal diversificación de la matriz energética, es necesario incentivar el desarrollo de energías renovables para que las fuentes hídricas que tiene Colombia conserven su biodiversidad, ya que Colombia está dentro de los 20 países más vulnerables frente al cambio climático, teniendo en cuenta el gran potencial que tiene en fuentes renovables no convencionales. Según la UPME, el potencial de Colombia en energía eólica y solar es muy superior a la actual capacidad instalada. Por esta razón existe un mercado que tiene un potencial de crecimiento elevado.

1.3 Marco legal en energías renovables (Ley No 1715 Del 13 de Mayo Del 2014, 2014)

En Colombia está en vigencia la ley No 1715 del 13 de mayo de 2014 emitida por el Congreso de Colombia, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

El objetivo principal de esta ley es promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía. Especialmente aquellas que son renovables, y así promover la integración al mercado eléctrico y su participación en las zonas no interconectadas; promover el uso energético como medio necesario para un desarrollo económico sostenible, en todo el territorio nacional teniendo en cuenta la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

La finalidad de la ley es establecer el marco legal y los instrumentos de promoción para el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía (FNCE), y fomentar la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía; así como

establecer las líneas de acción para cumplir los compromisos asumidos por Colombia en materias de energías renovables para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Por medio de esta ley se autoriza a los auto generadores a pequeña y gran escala a entregar sus excedentes energéticos a la red de distribución y/o transporte; son autorizados para obtener créditos de energía. Para las zonas no interconectadas la sustitución de generación con diésel progresivamente para reducir los costos de la prestación del servicio y la emisión de los gases contaminantes. Adicionalmente el fondo de energías no convencionales y gestión eficiente de la energía (FENOGE) para el financiamiento de los programas de FNCE, podrá ser financiado por la nación, entidades públicas o privadas, así como organismos de carácter multilateral e internacional, y estará regulado por el Ministerio de minas y energía y administrado por una fiducia de este.

En cuanto a los incentivos correspondientes a la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones tendrán derecho a reducir su renta por los siguientes 5 años a partir del año gravable en el que hayan hecho su inversión, por el 50% del valor total de la inversión realizada.

Los instrumentos para la promoción corresponden al incentivo tributario al impuesto del valor agregado (IVA), para fomentar el uso de las FNCE; los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la pre-inversión e inversión para la producción y utilización de energía a partir de FNCE, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos del IVA (para acceder a este descuento es necesario presentar el proyecto ante la UPME).

Según el artículo 13 el incentivo arancelario, las personas naturales o jurídicas gozarán de una exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos,

materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión e inversión de proyectos de FNCE.

La depreciación acelerada será aplicable a maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para la pre-inversión, inversión y operación de la generación con FNCE y no podrán ser mayores al 20% como tasa global anual.

La presente ley considera a la energía eólica como una fuente no convencional de energía renovable (FNCER) y deberá seguir los lineamientos de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica.

El Gobierno nacional a través del Ministerio de minas y energía fomentará el aprovechamiento del recurso del eólico en proyectos de generación; en zonas aisladas o interconectadas, asimismo la entidad determinará los requerimientos técnicos y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen el recurso eólico como fuente de generación.

El Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible determinará los parámetros ambientales que deberá cumplir los proyectos desarrollados con energía eólica, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en la implementación.

1.4 Sistema de generación eólica

A partir de la década de los 70 se ha incrementado el uso de la energía eólica y ha provocado un crecimiento que ha afectado de manera significativa a la evolución de estas tecnologías y sus frutos son equipos más eficientes y económicos; la mayoría de los sistemas eólicos actuales están diseñados usualmente con un rotor que es el receptor de la energía producida por el viento y a su vez la transforma en energía rotativa, también puede tener una caja

de engranajes la cual se encarga de hacer la adaptación correspondiente para poder ajustar la velocidad de rotación y enviarla al generador eléctrico para su posterior transformación en energía eléctrica.

Un sistema de generación eólica posee 5 componentes fundamentales para producir energía eléctrica; tales como: aerogenerador, generador, controlador de carga, inversor y acumulador de energía eléctrica.

Cabe aclarar que en la actualidad hay una gran variedad de diseños de sistemas de generación eólica donde algunos de los componentes mencionados anteriormente pueden estar o no presentes. No obstante, el que tiene un uso más extendido son los aerogeneradores de ejes horizontales, y se reconocen por su gran participación en los parques eólicos.

1.4.1 Generador

En un sistema de generación eólica, el componente que se encarga de transformar la energía mecánica en electricidad es el generador; que es un componente eléctrico que puede estar diseñado a partir de diferentes configuraciones como: inducción, inducción con rotor bobinado y sincrónico de imanes permanentes.

- Generador de inducción

Un gran porcentaje de sistemas eólicos utilizan generadores de inducción, usualmente se conocen como generadores asincrónicos trifásicos o de jaula bobinada. Inicialmente fueron contruidos para hacer un motor eléctrico, sin embargo, la necesidad y la oportunidad que está presente en las energías renovables, impulsan la investigación y la construcción de este tipo de dispositivos. Una de las razones por las cuales se utiliza en gran medida en sistemas eólicos es por su sistema de deslizamiento y su modo de manejar las sobrecargas, adicionalmente la

simplicidad de su sistema y su eficiencia es una buena opción en el sector de las energías limpias.

- Generador de inducción con rotor bobinado (GIRB)

Este tipo de generadores son especiales por su forma ya que el devanado del rotor es muy similar al del estator. También la composición de los devanados del rotor está unida a los anillos con función de deslizamiento a la flecha del rotor, pero no es tan común como los sistemas que manejan los generadores de inducción. Se diferencian principalmente porque son doblemente alimentados es decir tanto el rotor como el estator son alimentados por electricidad (Gimenez & Gomez, 2011).

- Generador sincrónico de imanes permanentes

Un generador sincrónico de imanes permanentes es una máquina rotativa que basa su funcionamiento en la inducción electromagnética según la ley de Faraday para transformar energía mecánica en energía eléctrica. La mayoría de los modelos están compuestos por un estator y un rotor; su principal característica es la alta capacidad de generación de energía, ya que la velocidad del rotor puede ajustarse al suministro de energía mecánica y a su vez establecer un vínculo rígido con la frecuencia de la red (Villagrán-villegas et al., 2017).

1.4.2 Controlador de carga

Es un dispositivo electrónico encargado de administrar la intensidad y voltaje de carga que ingresa a las baterías con el fin de alargar la vida útil de las mismas, ya que evita sobrecargas. Es común encontrar dos tipos de controladores de carga: tipo PARALELO (shunt) donde basa su funcionamiento en un transistor que deriva la corriente procedente de los módulos

hacia una carga resistiva de disipación, permitiendo establecer valores de voltaje de batería; y el otro tipo SERIE donde basan su funcionamiento en la interrupción de la corriente hacia la batería, en función de su voltaje. Gracias a las tecnologías actuales, este interruptor es progresivo, dando la posibilidad de tener diferentes niveles de carga (Bohorquez, 2011).

1.4.3 Inversor

Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. Entre sus características se destacan: Tensión de entrada y salida, la cual representa la tensión a la cual se debe conectar el inversor de corriente; potencia nominal es la cantidad máxima de potencia en vatios que será capaz de proporcionar a la salida del inversor; tipos de onda, ya que pueden tener onda senoidal modificada que son los más económicos y los de onda pura que aumentan la confiabilidad y compatibilidad con cualquier dispositivo; y la eficiencia, que indica en que proporción la energía que entra es utilizada efectivamente (Cárdenas et al., 2019).

1.4.4 Sistema de acumulación de energía

Un sistema de acumulación de energía es el conjunto de objetos que permiten conducir y almacenar electricidad desde la fuente generadora hasta las baterías, una batería es un conjunto de celdas electroquímicas en las que encontramos un electrodo positivo, un electrodo negativo y un electrólito, el cuál puede conducir iones entre ambos electrodos pero que a su vez es un aislante eléctrico. De esta manera se puede almacenar la energía eléctrica mediante reacciones químicas (Sales, 2019).

Dentro del mundo de las baterías encontramos las baterías industriales y las recargables; las industriales son aquellas que mediante una reacción química pueden generar electricidad, pero esta reacción no es reversible es decir la batería no puede volver a su estado inicial por lo tanto son baterías no recargables. Por otro lado, podemos encontrar las baterías recargables y como su nombre lo indica la reacción química es reversible y por consiguiente puede volver a su estado inicial. Las baterías recargables más comunes son: carbono-zinc, alcalinas, dióxido de litio-azufre, disulfuro de litio y hierro, entre otras. Se destacan las baterías AGM por su nulo mantenimiento, bajo costo y alto rendimiento (Sales, 2019).

Algunos conceptos que son interesantes para entender las características de estas baterías son tratados y definidos a continuación:

- **Potencia específica:** es la potencia que podemos obtener por cada kg (W/kg), esta potencia se ve afectada por la temperatura y las pérdidas del acumulador.
- **Densidad energética:** la cantidad de energía almacenada en relación con el peso del acumulador (Wh/kg).
- **Eficiencia carga/descarga:** Es la relación entre la energía que inyectamos en el acumulador deseando almacenar, y la cantidad de energía que más tarde se puede extraer de dicho acumulador, actualmente esa eficiencia suele ser cercana al 90%.
- **Ciclos de vida:** A la hora de cargar y descargar las baterías debido a las reacciones químicas se va reduciendo la capacidad.
- **Relación de auto descarga:** es la medición temporal de cuánto puede una batería ser almacenada y seguir siendo capaz de suministrar una potencia mínima a la vez que son capaces de poder recargarse hasta el valor máximo disponible por la batería.

1.4.5 Torre

La torre es uno de los principales componentes de un aerogenerador y para lograr su correcto dimensionamiento es preciso tener en cuenta que, a mayor altura, la producción de

energía del aerogenerador aumenta. Sin embargo, aumentar la altura de la torre implica el aumento del coste del componente. De este modo la elección de la altura de la torre juega un papel importante debido a que los costes económicos y los inconvenientes son directamente proporcionales a la altura y sus potenciales beneficios (Chaviano et al., 2018).

El segundo parámetro importante en el diseño de una torre es la rigidez ya que debe soportar las cargas de empuje que presenta el aerogenerador y el viento, por esta razón los materiales válidos para la construcción son el hormigón o el acero, no obstante, para aerogeneradores de uso doméstico es recomendable usar torres tubulares con o sin tirantes (Chaviano et al., 2018).

1.4.6 Aerogenerador

Es un dispositivo que puede convertir la energía cinética del viento en energía mecánica, que eventualmente se convierte en energía eléctrica. Son una versión ampliada y mejorada de los antiguos molinos de viento que utilizaban energía mecánica para moler, hoy su energía eléctrica se utiliza para un sinnúmero de cosas, .

- Aerogeneradores de eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical son aquellos que no tienen ningún mecanismo de orientación con respecto al viento además de no tener la capacidad de autoarranque. Como principal característica se tiene que el sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica está ubicado en el suelo y su altura a la cual operan es muy baja, permitiendo un acceso fácil a los diferentes sistemas para su mantenimiento. A su vez este tipo de aerogeneradores se pueden clasificar en tres grandes tipos: Savonius, Giromill y Darrieus (Tobías & Rubio, 2017).

Tipo Savonius: Este se caracteriza por estar formado por dos semicírculos desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire, por lo que desarrolla poca potencia (Portillo, 2021).

Giromill: Destaca por tener un conjunto de palas verticales unidas con dos barras en el eje vertical y ofrece un rango de suministro energético de 10 a 20 kW (Portillo, 2021).

Darrieus: Formado por dos o tres palas biconvexas unidas al eje vertical por la parte inferior y superior, permite aprovechar el viento dentro de una banda ancha de velocidades. El inconveniente que posee es que no se encienden por sí solos y necesitan un rotor Savonius (Portillo, 2021).

Ilustración 1-2
Eje vertical Savonius.

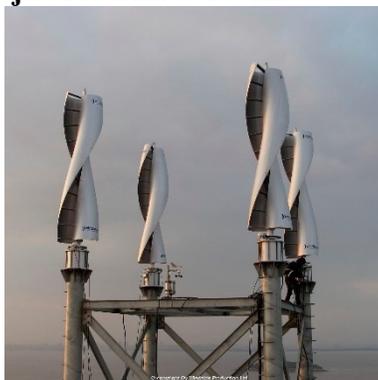


Ilustración 1-3
Eje vertical Giromill.



Ilustración 1-4
Eje vertical Darrieus.



Nota: Varias Páginas de internet.

- Aerogeneradores de eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal son aquellos cuyo eje del rotor está en la posición horizontal. A diferencia de los aerogeneradores de eje vertical, éste tiene la capacidad de autoarranque, así como un mecanismo de orientación. Estos aerogeneradores son altamente dependientes de la dirección del viento y por lo tanto son operados generalmente a alturas más elevadas que los aerogeneradores de eje vertical. A su vez estos aerogeneradores se clasifican dependiendo del número de palas con las que cuenta este mismo; entre ellos encontramos monopala, bipala, tripala y multipalas, donde destacamos que el aerogenerador tripala es el más utilizado comercialmente (Tobías & Rubio, 2017).

Ilustración 1-5
Eje horizontal multipalas.



Ilustración 1-6
Eje horizontal tripala.



Ilustración 1-7
Eje horizontal bipala.

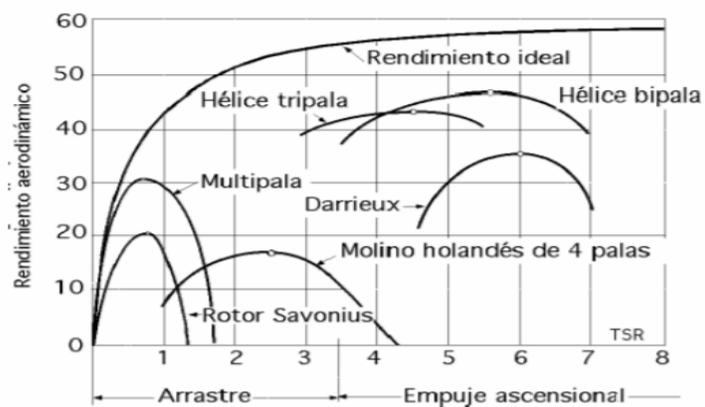


Ilustración 1-8
Eje horizontal monopala.



Nota: Varias Páginas de internet.

Ilustración 1-9
Rendimiento de los tipos de aerogeneradores.



Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

2. Diseño metodológico

El desarrollo del presente proyecto se apoyará utilizando la metodología sugerida por (Eraso-Checa1 et al., 2018), para atender al estudio de la prefactibilidad de implementación de un microaerogenerador en la finca La Bella en zona rural del municipio de Acevedo huila, se optó por un enfoque de investigación cuantitativo enmarcado en un diseño no experimental donde la principal variable es la velocidad del viento en la finca la bella y la muestra corresponde a la recolección de esta información durante un periodo de dos meses. A continuación, se describe la estrategia que se usó para resolver los problemas planteados la investigación:

- **Etapas 1: Recolección de datos que impactan en el sistema de generación eólica.**

Las magnitudes de mayor influencia para la realización de este proyecto son: la velocidad del viento, dirección del viento y temperatura ambiente. Para la recolección de los datos de la velocidad del viento y la temperatura se utilizará un anemómetro de la marca (Uni Trend Technology China Co Ltd, 2021) de la referencia “Uni-t Ut363 Bt”; el cual cuenta con un tiempo de muestreo de 0.5 segundos a 1 minuto. Para aumentar la mayor fiabilidad en la toma de datos; se recurrirá a montar el anemómetro en una veleta con el fin de direccionar el anemómetro en la dirección del viento y estará a una altura de 10 metros sobre la superficie.

El sitio óptimo del emplazamiento se seleccionará teniendo en cuenta la fase “estudio preliminar”, donde se evaluarán distintas ubicaciones para determinar cuál es el lugar idóneo para la instalación del microaerogenerador, de esta forma se procede a la segunda fase denominada “estudio intensivo” en la que se recolectaran los datos durante 60 días, y estará dividida en la etapa “Mes 1” y “Mes 2”, su finalidad es la comparación de los resultados obtenidos entre sí.

- **Etapa 2: Análisis de los datos recolectados.**

La variable que se utilizará para realizar el proceso de análisis durante el estudio intensivo será la velocidad del viento que será tomada durante dos meses con un tiempo de muestreo de 1 minuto; los datos serán agrupados por hora y fecha en un archivo .xlsx, para cada grupo se realizará un análisis estadístico destacando la velocidad promedio y máxima del viento, registrando promedios por hora y mes. Se estima que se recolectarán y analizarán 86400 datos de la velocidad del viento durante la fase 2 “estudio intensivo” (Eraso-Checa1 et al., 2018).

Los datos recolectados son analizados por medio de la ley de Weibull ya que permite predecir el comportamiento de la velocidad del viento para un año y determinar la frecuencia con la que se dan las diferentes velocidades del viento, posteriormente a la revisión de resultados en cada etapa, se tomara una decisión conservadora que garantice el potencial eólico en el emplazamiento.

- **Etapa 3: Selección del microaerogenerador.**

Teniendo en cuenta el requerimiento energético y la velocidad del viento, se recolectará información sobre los modelos disponibles en el mercado, se evaluarán sus características por medio del método multicriterio de apoyo la decisión AHP, el resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión teniendo en cuenta diferentes criterios que evaluarán y compararán cada aspecto entre sí (Bernal Romero & Niño Sanabria, 2018).

- **Etapa 4: Selección de los componentes para un sistema de generación eólica.**

La selección de los componentes del sistema de generación eólica se realizará a partir de las características eléctricas que deben cumplir cada elemento, teniendo en cuenta certificaciones, representación de la marca, calidad del producto y disponibilidad en el mercado a precios competitivos.

- **Etapa 5: Análisis técnico económico de la solución energética.**

El análisis técnico económico realizará una comparativa entre la producción energética del aerogenerador y la demanda energética en el lugar objeto de estudio.

El análisis económico tendrá en cuenta los costos asociados al sistema de generación eólica, su instalación y mantenimiento, el análisis financiero comparará los beneficios que se obtendrán al ejecutar el proyecto con respecto a los costos y gastos requeridos para su materialización, con la finalidad de comprobar la prefactibilidad del proyecto (Gómez Rodríguez et al., 2020).

3. Estudios y analisis de resultados

3.1 Estudio del viento

En esta sección se realizará el estudio de prefactibilidad técnica; donde se hablará de la localización del proyecto, la recolección de datos obtenidos por el equipo de medición eólica; el estudio del viento se dividirá en la fase “estudio preliminar”, en esta fase se hará un estudio para seleccionar la ubicación del emplazamiento con la mejor calidad de viento y en dicha ubicación se desarrollará la fase “estudio intensivo”; esta fase se divide en la etapa “Mes 1” y “Mes 2”, y contarán con treinta días cada la recolección de datos, con esta información se efectuará un análisis estadístico del viento.

Para establecer los parámetros del viento se calcularán mediante la distribución de Weibull, que es el sistema más utilizado para el cálculo del potencial eólico, este estudio se realizará mediante la programación del modelo matemático en Microsoft Excel y se comparará con los resultados obtenidos por el software WAsP Climate Analyst.

3.1.1 Localización del proyecto

Este trabajo de grado se realizará en la finca La Bella ubicado en vereda Anayaco del municipio de Acevedo en el departamento del Huila - Colombia.

El municipio de Acevedo se encuentra localizado en las estribaciones de la cordillera oriental por el sur oriente del departamento del Huila dentro del sistema montañoso andino. Hace parte del valle del río suaza entre la cordillera oriental y la serranía de la ceja, gracias al valle del río suaza el cual va disminuyendo su altitud en la medida en que se avanza hacia el nororiente el flujo del viento se orienta en la dirección del río suaza, la temperatura media es de 24°C a una

altura de 1100 msnm. Se localiza a 189 kilómetros de Neiva, capital del departamento del Huila (Municipio de Acevedo, 2015).

Ilustración 3-1 **Veredas del municipio de Acevedo.**



Nota: (Acevedo, 2018).

La finca “La Bella” está ubicada en las coordenadas $1^{\circ}48'46.7''N$ $75^{\circ}52'24.6''W$ al noroeste de la cabecera municipal; cuenta con un área de 9157.9 m^2 y tiene una altura promedio de 1100 msnm; está ubicada en la vereda Anayaco del municipio de Acevedo, el terreno posee una pendiente que lo eleva a 70 metros sobre el nivel del río Suaza.

3.1.2 *Recolección de datos*

Para la recolección de los datos se utilizó el anemómetro UT363 BT que tiene la capacidad para comunicarse vía bluetooth con un dispositivo móvil, los datos recolectados de manera automática son la velocidad del viento y la temperatura, con un tiempo de muestreo de un minuto a 0.5 segundos; además permite exportar los datos recolectados en un documento .xlsx.

Ilustración 3-2

Anemómetro utilizado para el proyecto UT363-BT.



Nota: (Uni Trend Technology China Co Ltd, 2021).

Para mejorar la confiabilidad de los datos se construyó una veleta que rota en función de la dirección del viento y para impermeabilizar el anemómetro se adecuó un recipiente instalado en la parte frontal de la veleta, posteriormente el conjunto se unió a un mástil de tubo galvanizado, así el anemómetro quedó a una altura de diez metros sobre la superficie.

Ilustración 3-3

Montaje anemómetro.



Imagen 1	De izquierda a derecha se encuentra: Anemómetro UT363-BT, celular, PowerBank 20000 mAh y 6 baterías AAA recargables.
Imagen 2	Veleta construida por los autores utilizando un rodamiento en la base y un contenedor en la parte frontal para asegurar e impermeabilizar el anemómetro.
Imagen 3	Se le denominara “ Conjunto ” a todos los componentes que aparecen en la imagen (estructura veleta, anemómetro y contenedor).
Imagen 4	Recipiente para proteger de la adversidad del clima al celular y el PowerBank encargados de tomar el registro de los datos.
Imagen 5	Montaje del del conjunto en el mástil.
Imagen 6	Anemómetro y veleta movidos por el viento.

Nota: J. Ortiz, 2021.

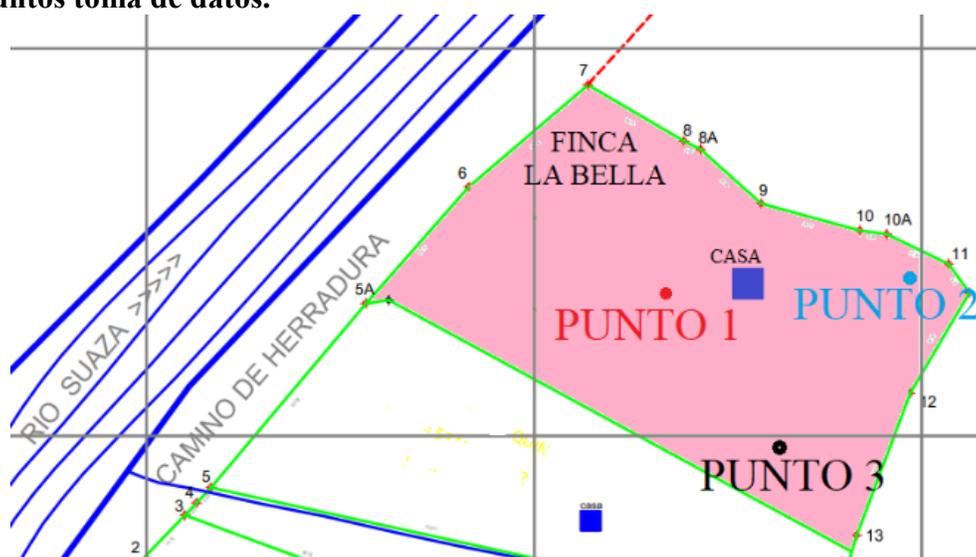
Para la instalación del mástil se tiene en cuenta que debe estar en un lugar libre de obstáculos ya que estos interfieren seriamente con la velocidad y la dirección del viento.

La recolección de datos se dividió en dos fases: la primera fase que se encarga de hacer un estudio preliminar que se enfoca en la selección de la ubicación del emplazamiento del microaerogenerador y la segunda fase se encarga de hacer un estudio intensivo en el lugar previamente seleccionado, con la finalidad de robustecer el análisis de la investigación.

- Estudio preliminar

Este estudio se enfoca en evaluar tres ubicaciones distintas dentro de la finca (Ilustración 3-4), con la finalidad de ubicar el emplazamiento ideal para realizar el estudio intensivo. Las condiciones que deben cumplir estas ubicaciones son: estar dentro de un radio de 50 metros de la vivienda, libre de obstáculos que afecten de manera negativa el viento y que el propietario este de acuerdo con la ubicación. En consecuencia, los puntos a estudiar son los que se muestran en la Ilustración 3-4.

Ilustración 3-4
Puntos toma de datos.



Nota: (Carlos E. Cáceres, 2016).

Debido a situaciones de horarios y limitaciones técnicas, las tomas de datos se hicieron a partir de las 6:00 hasta las 18:59, en esta fase preliminar no se usó el sistema de veleta, por lo tanto la caracterización previa se hizo sin tener en cuenta la dirección del viento, la comparación de los datos medidos en igualdad de condiciones permitió seleccionar el punto donde se realizaría el estudio intensivo; el anemómetro se configuró con un tiempo de muestreo de 30 segundos, y de cada ubicación se recolectaron datos por un periodo de dos días, finalmente se recolectaron un total de 9360 datos.

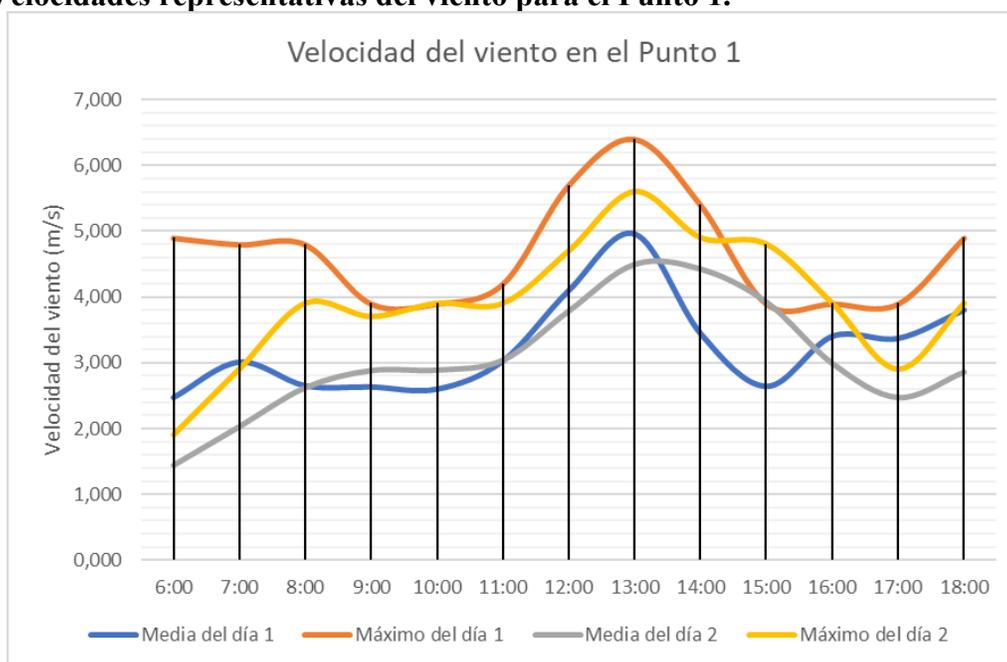
Esta información fue agrupada en intervalos de 1 hora resaltando la velocidad promedio y la velocidad máxima como se muestra en la Tabla 3-1, 3-2 y 3-3.

Tabla 3-1
Datos representativos durante el estudio previo punto 1.

Datos del viento en el Punto 1					
Fecha de inicio:		Domingo, 15 de agosto de 2021			
Fecha de finalización:		Lunes, 16 de agosto de 2021			
Horario de estudio:		Desde las 6:00 hasta 18:59 por día			
Lugar:		El punto 1 mencionado en la Ilustración 3-4			
Hora		Velocidad del viento (m/s)			
		Día 1		Día 2	
Rango de datos		Media	Máximo	Media	Máximo
6:00	6:59	2,469	4,9	1,433	1,9
7:00	7:59	3,008	4,8	2,023	2,9
8:00	8:59	2,649	4,8	2,618	3,9
9:00	9:59	2,631	3,9	2,880	3,7
10:00	10:59	2,597	3,9	2,887	3,9
11:00	11:59	3,028	4,2	3,037	3,9
12:00	12:59	4,103	5,7	3,788	4,7
13:00	13:59	4,965	6,4	4,501	5,6
14:00	14:59	3,444	5,4	4,428	4,9
15:00	15:59	2,639	3,9	3,924	4,8
16:00	16:59	3,403	3,9	2,988	3,9
17:00	17:59	3,372	3,9	2,468	2,9
18:00	18:59	3,804	4,9	2,856	3,9

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-1
Velocidades representativas del viento para el Punto 1.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-2
Datos representativos durante el estudio previo Punto 2.

Datos del viento en el Punto 2					
Fecha de inicio:		Martes, 17 de agosto de 2021			
Fecha de finalización:		Miércoles, 18 de agosto de 2021			
Horario de estudio:		Desde las 6:00 hasta 18:59 por día			
Lugar:		El punto 2 mencionado en la Ilustración 3-4			
Hora		Velocidad del viento (m/s)			
		Día 1		Día 2	
Rango de datos		Media	Máximo	Media	Máximo
6:00	6:59	1,433	1,9	2,247	3,7
7:00	7:59	1,467	6,7	2,533	4,1
8:00	8:59	1,225	3,7	2,373	4,8
9:00	9:59	1,118	4,1	2,472	5
10:00	10:59	1,508	4,8	2,678	4,8
11:00	11:59	1,848	5	2,941	4,3
12:00	12:59	2,023	4,8	3,286	4,9
13:00	13:59	1,700	4,3	3,419	5,5
14:00	14:59	2,154	4	3,393	5,1
15:00	15:59	1,786	5,5	3,469	4
16:00	16:59	1,632	5,1	2,538	4,4
17:00	17:59	1,466	4	2,634	6,7
18:00	18:59	1,183	4,4	2,898	6,7

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-2
Velocidades representativas del viento para el Punto 2.

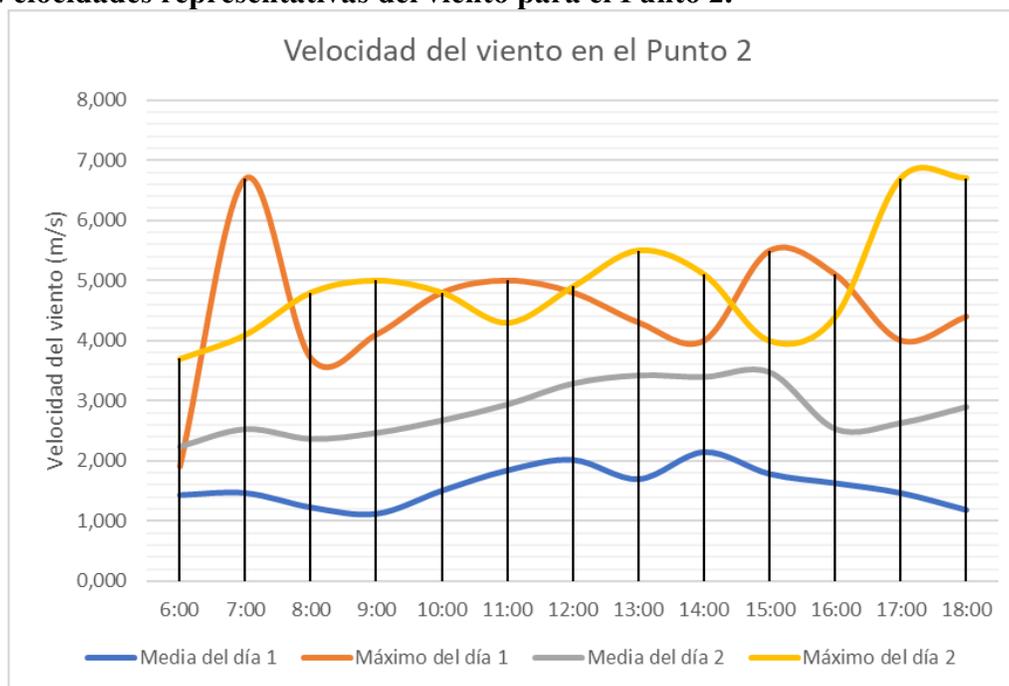
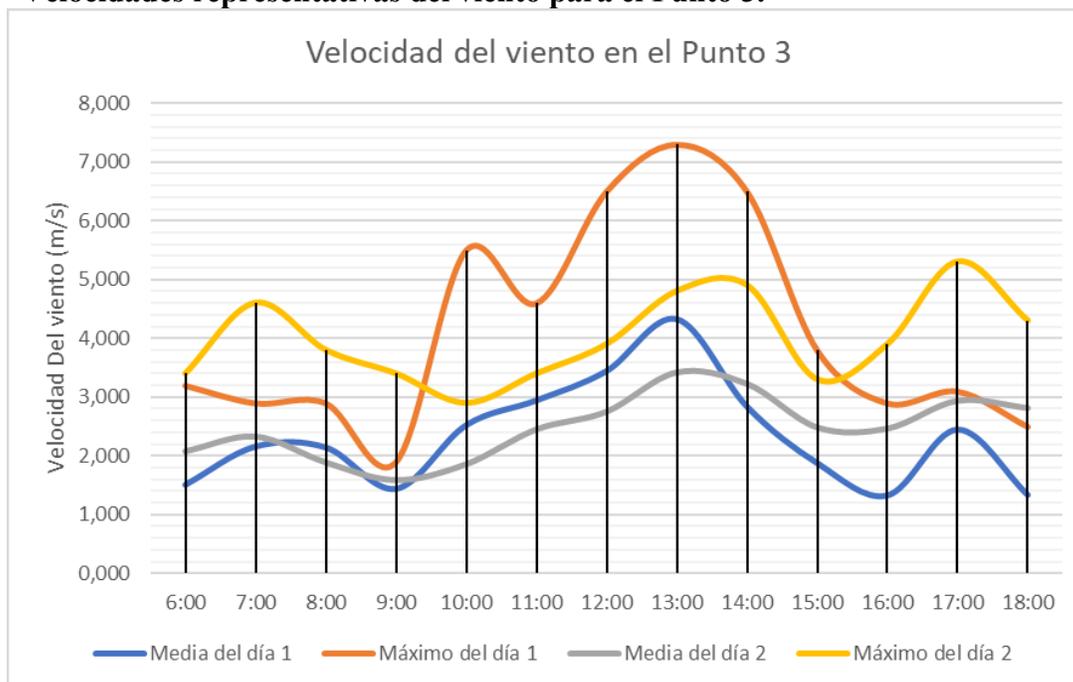


Tabla 3-3
Datos representativos durante el estudio previo Punto 3.

Datos del viento en el Punto 3					
Fecha de inicio:		Jueves, 19 de agosto de 2021			
Fecha de finalización:		Viernes, 20 de agosto de 2021			
Horario de estudio:		Desde las 6:00 hasta 18:59 por día			
Lugar:		El punto 3 mencionado en la Ilustración 3-4			
Hora		Velocidad del viento (m/s)			
		Dia 1		Dia 2	
Rango de datos		Media	Máximo	Media	Máximo
6:00	6:59	1,504	3,2	2,088	3,4
7:00	7:59	2,157	2,9	2,339	4,6
8:00	8:59	2,141	2,9	1,900	3,8
9:00	9:59	1,437	1,9	1,598	3,4
10:00	10:59	2,520	5,5	1,868	2,9
11:00	11:59	2,940	4,6	2,461	3,4
12:00	12:59	3,440	6,5	2,762	3,9
13:00	13:59	4,323	7,3	3,430	4,8
14:00	14:59	2,835	6,5	3,236	4,9
15:00	15:59	1,874	3,8	2,494	3,3
16:00	16:59	1,325	2,9	2,475	3,9
17:00	17:59	2,445	3,1	2,948	5,3
18:00	18:59	1,333	2,5	2,824	4,3

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-3
Velocidades representativas del viento para el Punto 3.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-4
Análisis de datos del estudio preliminar.

Análisis de datos del estudio preliminar												
Medidas de tendencia central	Punto 1				Punto 2				Punto 3			
	Día 1		Día 2		Día 1		Día 2		Día 1		Día 2	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
Media:	3,239	4,662	3,064	3,915	1,580	4,485	2,837	4,923	2,329	4,123	2,494	3,992
Error típico:	0,201	0,225	0,248	0,270	0,088	0,307	0,119	0,258	0,249	0,491	0,151	0,203
Mediana:	3,028	4,8	2,887	3,9	1,508	4,4	2,678	4,8	2,157	3,2	2,475	3,9
Moda:	#N/D	3,9	#N/D	3,9	#N/D	4,8	#N/D	4,8	#N/D	2,9	#N/D	3,4
Desviación estándar:	0,725	0,812	0,894	0,974	0,317	1,108	0,429	0,931	0,896	1,770	0,544	0,732
Varianza de la muestra:	0,526	0,659	0,800	0,948	0,101	1,228	0,184	0,867	0,803	3,132	0,296	0,536
Curtosis:	1,278	-0,016	-0,274	0,462	-0,638	2,520	-1,424	0,421	0,493	-0,986	-0,652	-0,950
Coefficiente de asimetría:	1,184	0,828	0,102	-0,361	0,287	-0,412	0,364	0,959	0,861	0,693	0,081	0,376
Rango:	2,496	2,5	3,068	3,7	1,036	4,8	1,223	3	2,998	5,4	1,832	2,4
Mínimo:	2,469	3,9	1,433	1,9	1,118	1,9	2,247	3,7	1,325	1,9	1,598	2,9
Máximo:	4,965	6,4	4,501	5,6	2,154	6,7	3,469	6,7	4,323	7,3	3,430	5,3
Suma:	42,111	60,6	39,830	50,9	20,542	58,3	36,881	64	30,273	53,6	32,423	51,9
Cuenta:	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Nota: V. Cuenca, 2021.

Se recolectaron 9360 datos de los cuales 3120 corresponden a cada punto. Para analizar cada punto fue necesario agrupar los datos por días y mediante la herramienta “Análisis de datos” de Microsoft Excel se obtuvo un análisis estadístico para cada día, diferenciando la velocidad promedio y máxima del viento, a partir de la comparación de estos resultados se logró establecer que el Punto 1 es el más indicado debido a que sus velocidades promedio se encuentran alrededor de 3,1 m/s, con picos máximos de 6,4 m/s. Este resultado en este momento de la investigación resultó muy promisorio sabiendo que varias marcas de microaerogeneradores ofrecen autoarranque a velocidades de 3,0 m/s y que los datos se tomaron sin considerar la dirección, y ratificó la necesidad de profundizar el conocimiento sobre el comportamiento del viento en el punto seleccionado.

Gracias al estudio preliminar se confirma que en la zona hay un potencial, sin embargo, es necesario recolectar mayor cantidad de datos para caracterizar dicho potencial eólico, tal que sea confiable y ajustado a la realidad; a partir de este estudio preliminar se sienta un precedente que sirve de base para fundamentar e iniciar la segunda fase correspondiente al estudio intensivo.

- Estudio intensivo

Se da inicio al estudio en el emplazamiento correspondiente al Punto 1 de acuerdo con el estudio preliminar. El anemómetro se instala en una cápsula impermeabilizada que se adjunta en la parte delantera de la veleta, a su vez la veleta en su base cuenta con un rodamiento que le permite girar sobre su eje con libertad, de esta forma el conjunto es acoplado en el mástil a una altura 10 metros desde el anemómetro hasta la base del emplazamiento, los datos son recolectados cada 24 horas.

Este estudio se enfoca en reafirmar y fortalecer el potencial del recurso eólico por medio de la toma de datos del viento y la temperatura. Se configuró el anemómetro con un tiempo de muestreo de 1 minuto, recolectando datos a partir de las 00:00 hasta 23:59, la toma de datos da inicio el sábado 21 de agosto de 2021 hasta el martes 19 de octubre de 2021, Los datos recolectados fueron divididos en dos etapas; “Mes 1” y “Mes 2” cada uno con un periodo de 30 días. La división de los datos se hace con la finalidad de comparar y concluir cual es el potencial eólico en el emplazamiento.

I. Etapa Mes 1.

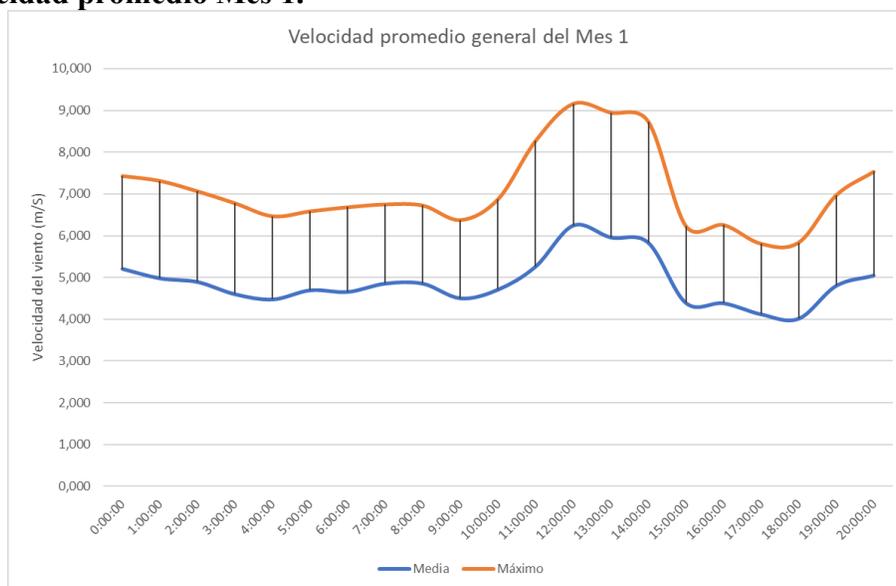
Tabla 3-5
Datos del viento Mes 1.

Datos del viento del Mes 1			
Fecha de inicio:		Sábado, 21 de agosto de 2021	
Fecha de finalización:		Domingo, 19 de septiembre de 2021	
Horario de estudio:		Desde las 0:00 hasta 23:59 por día a lo largo de 30 días	
Lugar:		El punto 1 determinado por el estudio preliminar	
Descripción:		Estos datos fueron elaborados tomando los promedios y máximos de cada día, de modo que se agruparon con cada respectiva hora.	
Hora		Velocidad del viento (m/s)	
Rango de datos		Media	Máximo
0:00	0:59	5,205	7,430
1:00	1:59	4,980	7,312
2:00	2:59	4,893	7,063
3:00	3:59	4,601	6,776

4:00	4:59	4,478	6,467
5:00	5:59	4,697	6,586
6:00	6:59	4,657	6,683
7:00	7:59	4,857	6,750
8:00	8:59	4,854	6,723
9:00	9:59	4,505	6,376
10:00	10:59	4,712	6,877
11:00	11:59	5,262	8,271
12:00	12:59	6,240	9,158
13:00	13:59	5,956	8,945
14:00	14:59	5,829	8,729
15:00	15:59	4,393	6,233
16:00	16:59	4,387	6,260
20:00	20:59	4,124	5,809
21:00	21:59	4,017	5,836
22:00	22:59	4,800	6,966
23:00	23:59	5,046	7,532

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-4
Velocidad promedio Mes 1.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Para la etapa Mes 1 se recolectaron 43200 datos de la velocidad del viento, estos fueron agrupados por cada hora del día durante los 30 días para consolidar la información y obtener 1440 datos (Anexo A - 1) de los cuales se obtuvo: Un día promedio de esta etapa (Tabla 3-5 y Gráfica 3-4) y por medio de Excel se obtuvo las medidas de tendencia central (Tabla 3-6), tabla de distribución de frecuencias (Tabla 3-7), por medio del software WAsP Climate Analyst se

logró obtener un pronóstico de la velocidad media estimada y una potencia calculada y de esta forma realizar una comparación teórica de resultados.

Tabla 3-6
Medidas de tendencia central Mes 1.

Análisis de datos del Mes 1	
Medidas de tendencia central	
Media:	5,922
Error típico:	0,049
Mediana:	5,653
Moda:	6
Desviación estándar:	1,874
Varianza de la muestra:	3,513
Curtosis:	0,220
Coefficiente de asimetría:	0,636
Rango:	10,363
Mínimo:	2,437
Máximo:	12,8
Suma:	8527,95
Cuenta:	1440

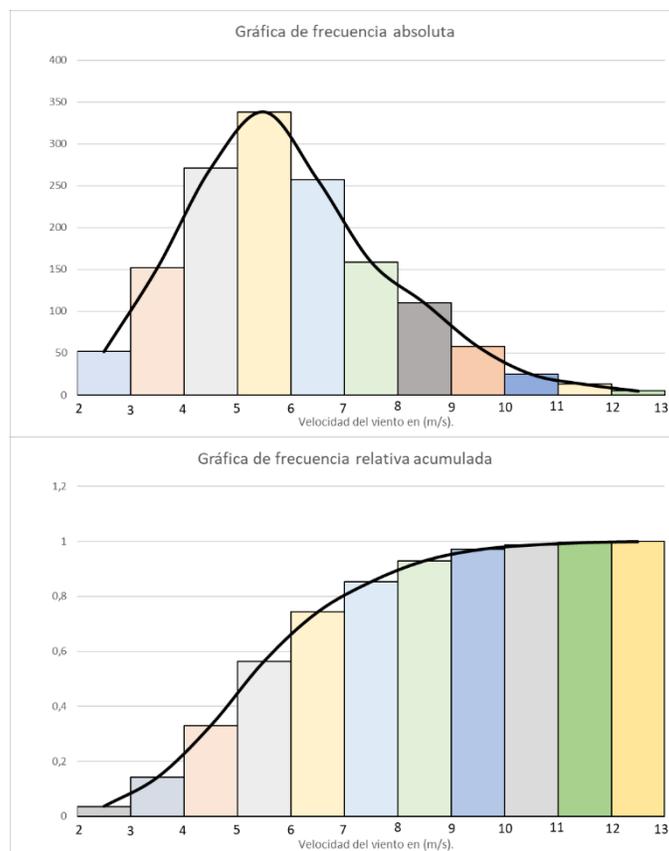
Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-7
Tabla de distribución de frecuencia.

Velocidad del viento		Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Lim Inf	Lim sup				
[2	3)	2,5	52	0,036	0,036
[3	4)	3,5	152	0,106	0,142
[4	5)	4,5	271	0,188	0,330
[5	6)	5,5	338	0,235	0,565
[6	7)	6,5	257	0,178	0,743
[7	8)	7,5	159	0,110	0,853
[8	9)	8,5	110	0,076	0,930
[9	10)	9,5	58	0,040	0,970
[10	11)	10,5	25	0,017	0,988
[11	12)	11,5	13	0,009	0,997
[12	13)	12,5	5	0,003	1,000
Total			1440	1	

Nota: V. Cuenca, 2021.

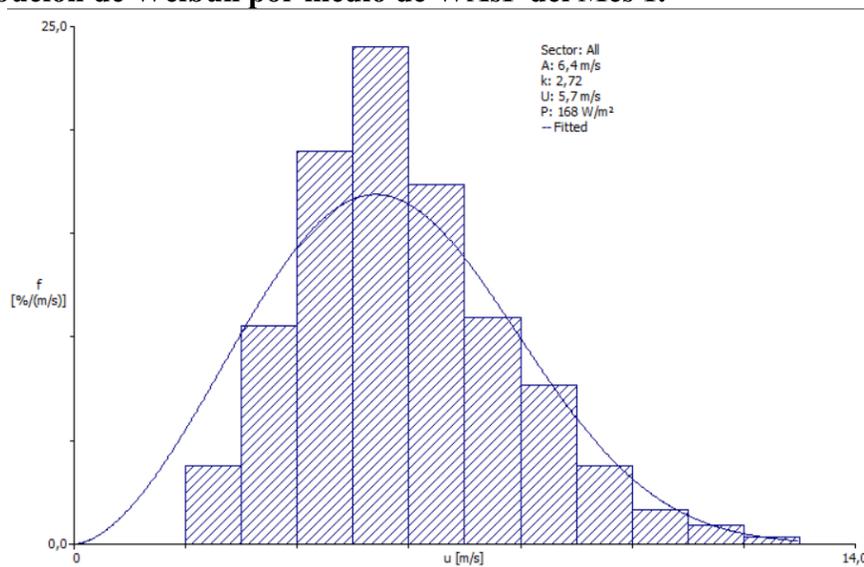
Gráfica 3-5
Gráfica de frecuencia absoluta y acumulada del Mes 1.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-6

Distribución de Weibull por medio de WAsP del Mes 1.



Nota: Elaborado en WAsP Climate Analyst, 2021.

Durante la etapa “Mes 1” podemos concluir que en un día promedio encontramos velocidades entre 9 y 4 m/s de modo que mediante las medidas de tendencia central se obtiene

una media de 5,922 m/s y destacando que la velocidad que más veces encontramos esta entre 5 y 6 m/s. La información consolidada (Anexo A - 1) se introdujo en el software WAsP donde se obtuvo una velocidad media estimada de 5,7 m/s y un potencial calculado de 168 W/m² (Gráfica 3-6). La finalidad de estos resultados es compararlos con la distribución de Weibull que se desarrolló posteriormente programando el modelo matemático en el software Microsoft Excel.

II. Etapa Mes 2.

En el desarrollo de esta etapa se recolectaron la misma cantidad de datos y se agruparon de igual modo que en la etapa Mes 1 (Anexo A - 2). De los cuales se obtuvo: Un día promedio de esta etapa (Tabla 3-8 y Gráfica 3-7) y por medio de Excel se obtuvo las medidas de tendencia central (Tabla 4-9), tabla de distribución de frecuencias (Tabla 3-10) y por medio del software WAsP Climate Analyst se logró obtener un pronóstico de la velocidad media estimada y una potencia calculada y de esta forma realizar una comparación teórica de resultados.

Tabla 3-8
Datos del viento Mes 2.

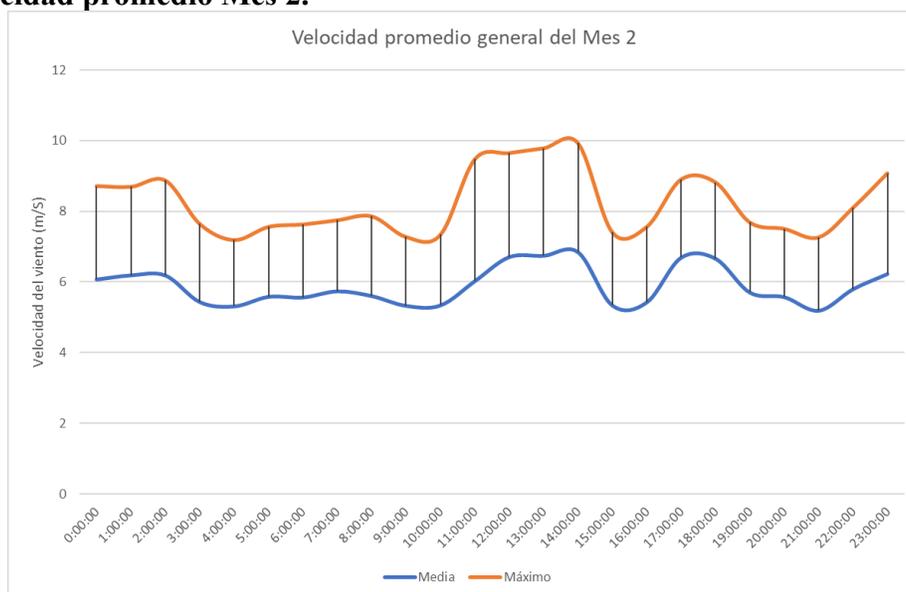
Datos del viento del Mes 2			
Fecha de inicio:		Lunes, 20 de septiembre de 2021	
Fecha de finalización:		Martes, 19 de octubre de 2021	
Horario de estudio:		Desde las 0:00 hasta 23:59 por día a lo largo de 30 días	
Lugar:		El punto 1 determinado por el estudio preliminar	
Descripción:		Estos datos fueron elaborados tomando los promedios y máximos de cada día, de modo que se agruparon con cada respectiva hora.	
Hora		Velocidad del viento (m/s)	
Rango de datos		Media	Máximo
0:00	0:59	6,074	8,713
1:00	1:59	6,191	8,693
2:00	2:59	6,187	8,870
3:00	3:59	5,435	7,643
4:00	4:59	5,313	7,190
5:00	5:59	5,584	7,563
6:00	6:59	5,565	7,630
7:00	7:59	5,739	7,750
8:00	8:59	5,606	7,860
9:00	9:59	5,329	7,277
10:00	10:59	5,340	7,340
11:00	11:59	6,026	9,473

12:00	12:59	6,708	9,647
13:00	13:59	6,743	9,780
14:00	14:59	6,846	9,923
15:00	15:59	5,337	7,403
16:00	16:59	5,426	7,563
20:00	20:59	5,575	7,507
21:00	21:59	5,192	7,267
22:00	22:59	5,799	8,103
23:00	23:59	6,228	9,077

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-7

Velocidad promedio Mes 2.



Nota: V. Cuenca, 2021

Tabla 3-9

Tabla de medidas de tendencia central Mes 2.

Análisis de datos del Mes 2	
Medidas de tendencia central	
Media:	7,062
Error típico:	0,046
Mediana:	6,755
Moda:	7
Desviación estándar:	1,729
Varianza de la muestra:	2,988
Curtosis:	-0,031
Coefficiente de asimetría:	0,642
Rango:	10,033
Mínimo:	2,767
Máximo:	12,8
Suma:	10169,34
Cuenta:	1440

Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-10

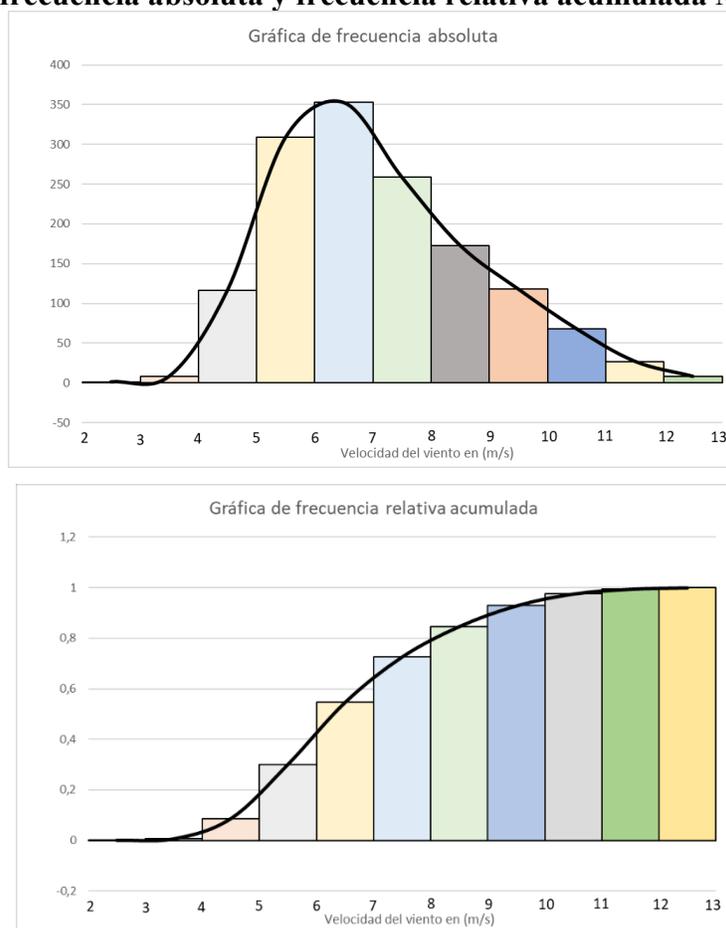
Tabla de distribución de frecuencia Mes 2.

Velocidad del viento		Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
Lim Inf	Lim Sup				
[2	3)	2,5	1	0,001	0,001
[3	4)	3,5	8	0,006	0,006
[4	5)	4,5	116	0,081	0,087
[5	6)	5,5	309	0,215	0,301
[6	7)	6,5	353	0,245	0,547
[7	8)	7,5	259	0,180	0,726
[8	9)	8,5	173	0,120	0,847
[9	10)	9,5	118	0,082	0,928
[10	11)	10,5	68	0,047	0,976
[11	12)	11,5	27	0,019	0,994
[12	13)	12,5	8	0,006	1,000
Total			1440	1	

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-8

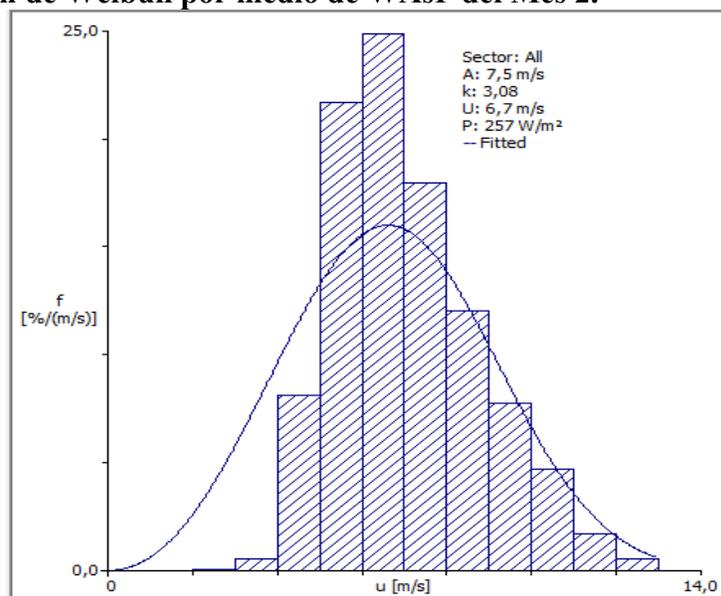
Gráfica de frecuencia absoluta y frecuencia relativa acumulada Mes 2.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-9

Distribución de Weibull por medio de WAsP del Mes 2.



Nota: Elaborado en WAsP Climate Analyst, 2021.

Durante la Etapa “Mes 2” podemos concluir que en un día promedio encontramos velocidades entre 9,9 y 5,1 m/s de modo que mediante las medidas de tendencia central se obtiene una media de 7,062 m/s y destacando que la velocidad que más veces encontramos esta entre 5 y 7 m/s. La información consolidada (Anexo A - 2) se introdujo en el software WAsP donde se obtuvo una velocidad media estimada de 6,7 m/s y un potencial calculado de 257 W/m² (Gráfica 3-9). La finalidad de estos resultados es compararlos con los del primer mes y con la distribución de Weibull que se desarrolló posteriormente programando el modelo matemático en el software Microsoft Excel.

Síntesis de resultados

Se recolectaron en total 95760 datos de velocidad del viento correspondientes al estudio preliminar y al estudio intensivo; durante el estudio realizado entre el 21 de agosto de 2021 al 19 de octubre de 2021 se obtuvo que en la etapa “Mes 2” la velocidad promedio del viento fue

18,6% superior al de la etapa “Mes 1”; estos resultados preliminares se hacen con la finalidad de evaluar y pronosticar cual es la velocidad promedio para un día de 24 horas.

3.1.3 Distribución de Weibull

Es una distribución de probabilidad continua, se aplica en la modelación de la distribución de la velocidad del viento, permitiendo calcular el potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador. La ley de Weibull permite predecir el comportamiento de la velocidad del viento para un año y determinar la frecuencia con la que se dan diferentes velocidades del viento (López, 2018).

En la mayoría de los casos de interés energético, la distribución de probabilidad de la velocidad del viento sigue aproximadamente la función de densidad de probabilidad de Weibull $p(v)$. La Ecuación 3-1 muestra una distribución real de velocidades y la ley de Weibull ajustada. Esta función $p(v)$, de dos parámetros (k , c), según:

Ecuación 3-1

Ecuación función probabilidad del viento.

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

En donde:

- v : es la velocidad del viento (m/s).
- $p(v)$: es la función densidad de probabilidad de Weibull.
- c : es el factor de escala (m/s), valor próximo a la velocidad media anual. También se acostumbra a designar por A .
- k : es el factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función $p(v)$.

- Parámetros estadísticos de la distribución de velocidad

La velocidad media anual $\langle v \rangle$, la mediana \tilde{V} y la varianza σ^2 , para una distribución de Weibull se calculan según:

Ecuación 3-2

Velocidad media anual.

$$\langle v \rangle = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$$

Ecuación 3-3

Mediana.

$$\tilde{V} = c (\ln 2)^{1/k}$$

Ecuación 3-4

Varianza.

$$\frac{\sigma^2}{c^2} = \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]^2$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

En donde $\Gamma(x)$ es la función gamma, definida por: $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-z} z^{x-1} dz$

- Parámetros para los cálculos energéticos

Un parámetro notable es la media anual del cubo de las velocidades $\langle v^3 \rangle$, que no es igual al cubo de la velocidad media anual $\langle v \rangle^3$, para la distribución de Weibull Viene dada según la Ecuación 3-5.

Ecuación 3-5

Media anual del cubo de las velocidades.

$$\langle v^3 \rangle = c^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{k} \right)$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

La velocidad eficaz v^* se define como aquella velocidad que es elevada al cubo y coincide con la media anual de los cubos de las velocidades. Se define en la Ecuación 3-6.

Ecuación 3-6

Velocidad eficaz.

$$v^* = \langle v^3 \rangle^{1/3}$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

A partir de media anual del cubo de las velocidades y la velocidad eficaz se obtiene el siguiente conjunto de relaciones:

Ecuación 3-7
Velocidad media
anual/parámetro c .

$$\frac{\langle v \rangle}{c} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

Ecuación 3-8
Desviación
estándar/velocidad media
anual.

$$\frac{\sigma}{\langle v \rangle} = \left[\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 3-9
Factor de energía o
factor de potencia eólica
(F_e).

$$F_e = \frac{\langle v^3 \rangle}{\langle v \rangle^3} = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

- Cálculo de los parámetros de Weibull

Los principales parámetros de Weibull son (c y k) que tienen una clara dependencia de la velocidad del viento. Para determinar estos parámetros se utiliza un ajuste de mínimos cuadrados a través de distribución acumulada $F(v)$:

$$F(v) = 1 - e^{-(v/c)^k}$$

Para emplear la ecuación de distribución acumulada se transforma en la Ecuación 3-10.

Ecuación 3-10
Distribución acumulada.

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k * \ln(v) - k * \ln(c)$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

Se procede al ajuste por mínimos cuadrados a la recta: $y = k * x + B$, en donde:

Ecuación 3-11
Ajuste por mínimos cuadrados.

$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))] \rightarrow y = \text{Valor de la distribución acumulada.}$$

$$x = \ln(v) \rightarrow k * x = \text{Pendiente (k) * Valor de } x \text{ (velocidad del viento).}$$

$$B = -k * \ln(c) \rightarrow B = \text{Complemento de la ecuación de la pendiente.}$$

Fuente: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

Calculada la recta por mínimos cuadrados, su pendiente proporciona el valor de k y el valor de c se obtiene a partir de la Ecuación 3-12.

Ecuación 3-12**Factor de escala.**

$$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)}$$

Fuente: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

3.1.4 Potencial eólico disponible

La potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área expuesta perpendicularmente al flujo de viento y al cubo de su velocidad. Como se demuestra en Ecuación 3-13. La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podría obtener del viento si se pudiera extraer del mismo toda su energía cinética. Sin embargo, en la práctica se puede aprovechar como máximo alrededor de un 45% al 50% de la potencia eólica disponible dado el límite de Betz, las pérdidas aerodinámicas, mecánicas y el rendimiento del generador eléctrico (López, 2018).

Ecuación 3-13**Potencia disponible por unidad de área.**

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

La potencia disponible depende linealmente de la densidad del aire. La expresión siguiente se puede utilizar para calcular la densidad en función de la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar (López, 2018):

Ecuación 3-14**Densidad del aire.**

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{T + 273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435}\right)}$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

Donde:

- **ρ** : es la densidad del aire Kg/m³
- **T** : es la temperatura en grados Celsius (°C)
- **h** : es la altura sobre el nivel del mar (m)

El potencial eólico disponible es directamente proporcional al área y se relaciona con la velocidad media anual, pero es importante diferenciar las distintas formas de expresar esta velocidad tales como; velocidad eficaz [v^*], la velocidad media de los cubos $\langle v \rangle^3$ y la velocidad media cubica $\langle v^3 \rangle$ como se demuestra en la siguiente expresión.

Ecuación 3-15

Potencial eólico disponible en función de: [v^*], $\langle V \rangle^3$ y $\langle V^3 \rangle$.

$$\frac{\langle P_d \rangle}{A} = \frac{1}{2} \rho \langle v^3 \rangle = \frac{1}{2} \rho F_e \langle v \rangle^3 = \frac{1}{2} \rho F_e v^*$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

Para el cálculo de la potencia eólica por unidad de área se utilizó la Ecuación 3-16.

Ecuación 3-16

Potencia eólica disponible.

$$\frac{(P_d)}{A} = \frac{1}{2} \rho F_e (v)^3$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

3.1.5 Potencial eólico máximo

La potencia máxima corresponde a la energía máxima que se puede extraer del viento tomando en cuenta la superficie de barrido del rotor, sin embargo, transformar toda la energía eólica a energía eléctrica no es tecnológicamente viable. Como ya se ha indicado, la energía útil está limitada por la relación entre la potencia en el eje del rotor y la disponibilidad del viento se le denomina rendimiento de conversión o coeficiente de potencia (C_p), teóricamente se puede aprovechar del flujo del viento tan solo un 59.3% de la potencia disponible (límite de Betz), no obstante, en la práctica solo se aprovecha entre el 50% y 40% con la tecnología actual según los fabricantes como se discutió anteriormente.

Para el cálculo de la potencia máxima se utiliza la Ecuación 3-17.

Ecuación 3-17**Potencia máxima.**

$$P_{max} = C_p * P_d$$

Nota: (Ingeniería De La Energía Eólica, 2012).

3.1.6 Caracterización del potencial energético del viento de la finca La Bella

Para caracterizar el potencial eólico los parámetros que serán de vital importancia son: la densidad del aire, la velocidad media anual, la distribución de Weibull y la potencia disponible por unidad de área. Para efectos de esta investigación los cálculos matemáticos se fundamentan en la ley de Weibull ya que tiene amplia aplicación en la modelación de la velocidad del viento y el cálculo del potencial energético del mismo.

Para el cálculo de estos parámetros se utilizaron los datos recolectados en el estudio intensivo que fue dividido en dos etapas: La etapa “Mes 1” y “Mes 2” para su análisis se utilizaron los datos mencionados en el anexo A – 1 y A – 2 respectivamente.

I. Etapa Mes 1.

Para la caracterizar el potencial eólico en el Mes 1 inicialmente se calcularon los parámetros de Weibull (Tabla 3-11), utilizando el método de ajustes de mínimos cuadrados (Ecuación 3-10), se obtuvieron el factor de escala (c) y el factor de forma (k).

Tabla 3-11**Tabla parámetros de Weibull del Mes 11.**

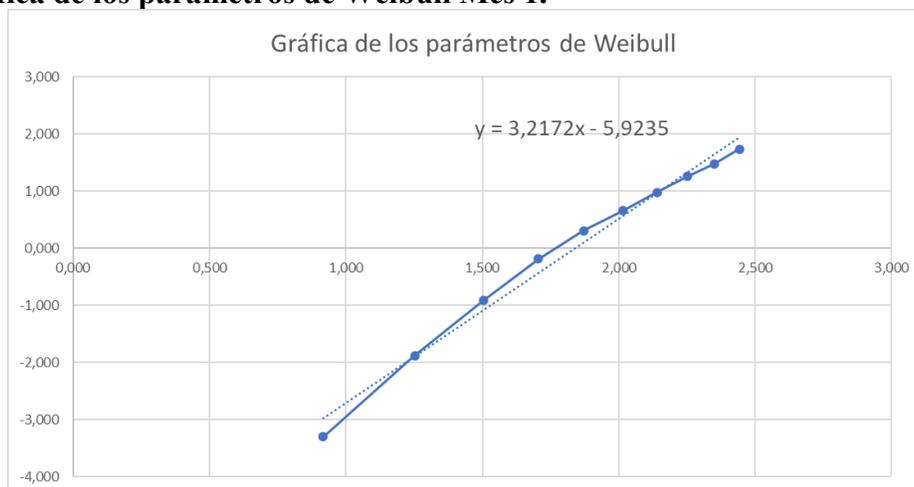
Parámetros de Weibull del Mes 1					
Datos				Cálculos	
Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Ln (Vel.)	Ln (-Ln (1-Fr. Acu))
0,5	0	0,0000	0,000	-0,693	# ;NUM!
1,5	0	0,0000	0,000	0,405	# ;NUM!
2,5	52	0,0361	0,036	0,916	-3,303
3,5	152	0,1056	0,142	1,253	-1,879
4,5	271	0,1882	0,330	1,504	-0,916
5,5	338	0,2347	0,565	1,705	-0,185
6,5	257	0,1785	0,743	1,872	0,307

7,5	159	0,1104	0,853	2,015	0,653
8,5	110	0,0764	0,930	2,140	0,977
9,5	58	0,0403	0,970	2,251	1,256
10,5	25	0,0174	0,988	2,351	1,478
11,5	13	0,0090	0,997	2,442	1,734
12,5	5	0,0035	1,000	2,526	# ¡NUM!
Total	1440	1			

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-10

Gráfica de los parámetros de Weibull Mes 1.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-12

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 1.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 1			
$y = k * x + B$	k	B	c
	3,22	-5,923	$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)} = 6,31$

Nota: V. Cuenca, 2021.

Para el cálculo del parámetro del factor de escala (c) y el factor de forma (k) se partió de la Tabla 3-11 en donde los cálculos se lograron a partir de la Ecuación 3-11 y se obtuvo la Gráfica 3-10; con la Gráfica de los Parámetros de Weibull se utilizó la herramienta de Excel que permite obtener la línea de tendencia y su respectiva ecuación para la recta “ $y = k * x + B$ ”, el factor de escala se obtuvo a partir de la Ecuación 3-12.

Conociendo el factor de escala $c = 6,31$ y el factor de forma $k = 3,22$, se rempazan estos valores en la Ecuación 3-1 a fin de obtener la probabilidad del viento.

Tabla 3-13

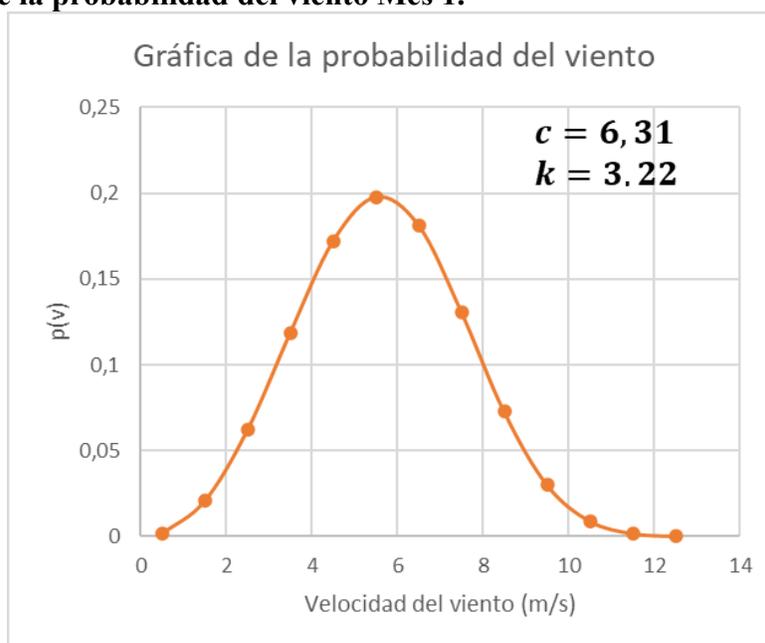
Tabla de probabilidad del viento Mes 1.

Probabilidad del viento del Mes 1	
Velocidad del viento (m/s)	Probabilidad de Weibull $p(v)$
0,5	0,00183
1,5	0,02082
2,5	0,06211
3,5	0,11871
4,5	0,17205
5,5	0,19785
6,5	0,18139
7,5	0,13088
8,5	0,07271
9,5	0,03024
10,5	0,00913
11,5	0,00193
12,5	0,00028

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-11

Gráfica de la probabilidad del viento Mes 1.



Nota: V. Cuenca, 2021.

La Gráfica 3-11 muestra la función de la probabilidad del viento en el sitio de estudio; donde se puede resaltar las zonas donde hay mayor probabilidad de que el viento se encuentre

entre 5 y 7 m/s y si realizamos una comparación con los datos obtenidos en el software WAsP (Gráfica 3-6) se puede concluir que son similares.

Por último, para calcular los parámetros de la caracterización del potencial eólico se utilizaron como referencia la temperatura promedio, altura sobre el nivel del mar, factor de escala y factor de forma.

Tabla 3-14
Potencial energético Mes 1.

Potencial energético del viento del Mes 1				
Parámetros		Símbolo	Valor	
Temperatura:		T	24 °C	
Altura [msnm]:		h	1100 m	
Factor de Escala:		c	6,31 m/s	
Factor de Forma:		k	3,22	
Termino	Densidad del aire	Velocidad media anual	Factor de energía	Potencia disponible por unidad de área
Símbolo	ρ	$\langle v \rangle$	F_e	$\frac{(P_d)}{A}$
Definición	Ecuación 4-14.	Ecuación 4-2.	Ecuación 4-9.	Ecuación 4-15.
Resultado	1,043	5,7	1,4	135,2
Unidades	Kg/m ³	m/s	m/s	W/m ²

Nota: V. Cuenca, 2021.

Durante la caracterización de la etapa “Mes 1” podemos concluir que la **velocidad media anual** es de **5,7 m/s** y proporciona una **potencia disponible por unidad de área** de **135,2 W/m²**; a partir de estos resultados y realizando la comparación de la información obtenida en el software WAsP (Gráfica 3-6), se analiza que para el cálculo de la potencia disponible WAsP no toma en cuenta la densidad del aire en consecuencia, se evidencia una diferencia, siendo más conservador (y apropiado para el diseño) el resultado obtenido con el programa desarrollado en el presente trabajo.

II. Etapa Mes 2.

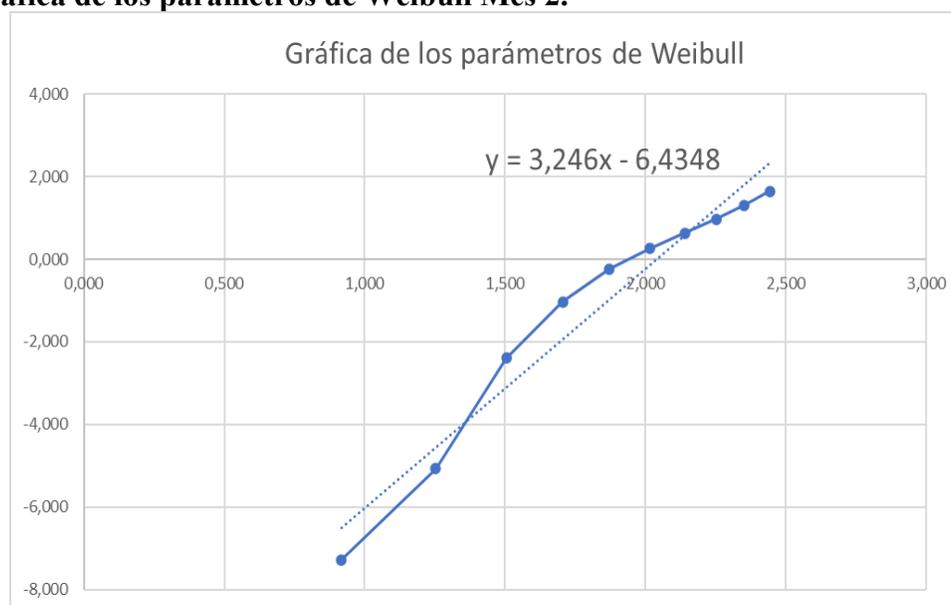
Para realizar el análisis de los parámetros de la Etapa “Mes 2” se replicará el mismo procedimiento efectuado en la Etapa “Mes 1”.

Tabla 3-15
Tabla parámetros de Weibull del Mes 2.

Parámetros de Weibull del Mes 2					
Datos				Cálculos	
Intervalos	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada	Ln (Vel.)	Ln (-Ln (1-Fr. Acu))
0,5	0	0,0000	0,000	-0,693	# ¡NUM!
1,5	0	0,0000	0,000	0,405	# ¡NUM!
2,5	1	0,0007	0,001	0,916	-7,272
3,5	8	0,0056	0,006	1,253	-5,072
4,5	116	0,0806	0,087	1,504	-2,399
5,5	309	0,2146	0,301	1,705	-1,025
6,5	353	0,2451	0,547	1,872	-0,235
7,5	259	0,1799	0,726	2,015	0,259
8,5	173	0,1201	0,847	2,140	0,628
9,5	118	0,0819	0,928	2,251	0,970
10,5	68	0,0472	0,976	2,351	1,313
11,5	27	0,0188	0,994	2,442	1,647
12,5	8	0,0056	1,000	2,526	# ¡NUM!
Total	1440	1			

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-12
Gráfica de los parámetros de Weibull Mes 2.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-16

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 2.

Resultado del ajuste por mínimos cuadrados del Mes 2			
$y = k * x + B$	k	B	c
	3,25	-6,435	$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)} = 7,26$

Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-17

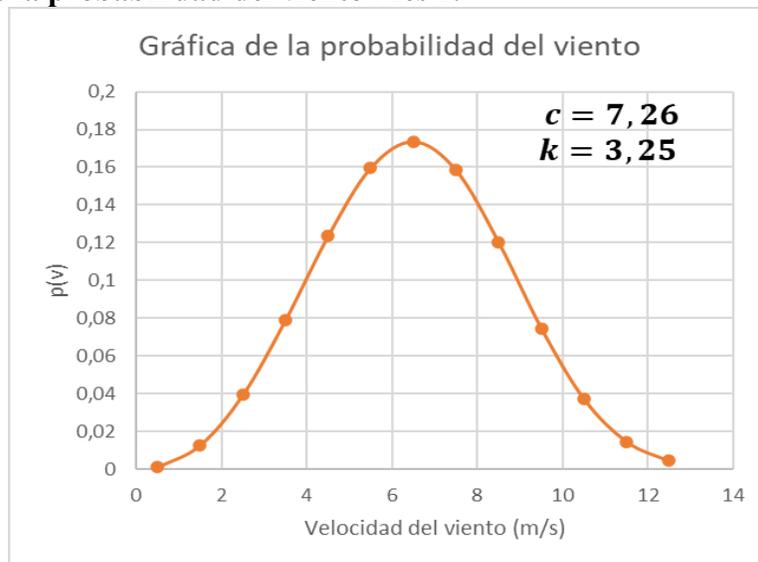
Tabla de probabilidad del viento Mes 2.

Probabilidad del viento del Mes 2	
Velocidad del viento (m/s)	Probabilidad de Weibull p(v)
0,5	0,00110
1,5	0,01287
2,5	0,03953
3,5	0,07908
4,5	0,12357
5,5	0,15968
6,5	0,17347
7,5	0,15830
8,5	0,12013
9,5	0,07466
10,5	0,03730
11,5	0,01466
12,5	0,00443

Nota: V. Cuenca, 2021.

Gráfica 3-13

Gráfica de la probabilidad del viento Mes 2.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Tabla 3-18
Potencial energético Mes 2.

Potencial energético del viento del Mes 2				
Parámetros		Símbolo	Valor	
Temperatura:		T	24 °C	
Altura [msnm]:		h	1100 m	
Factor de escala:		c	7,26 m/s	
Factor de forma:		k	3,25	
Termino	Densidad del aire	Velocidad media anual	Factor de energía	Potencia disponible por unidad de área
Símbolo	ρ	$\langle v \rangle$	F_e	$\frac{(P_d)}{A}$
Definición	Ecuación 4-14.	Ecuación 4-2.	Ecuación 4-9.	Ecuación 4-15.
Resultado	1,043	6,5	1,3	186,2
Unidades	Kg/m ³	m/s	m/s	W/m ²

Nota: V. Cuenca, 2021.

Durante la caracterización de la etapa “Mes 2” podemos concluir que la **velocidad media anual** es de **6.5 m/s** y proporciona una **potencia disponible por unidad de área** de **186.2 W/m²**.

Comparando los resultados obtenidos entre cada una de las etapas se concluye que en la etapa “Mes 2” se encuentra mejor calidad de viento y una mayor potencia disponible por unidad de área, sin embargo, la investigación está enfocada en obtener datos fiables; por esta razón los datos que se utilizarán serán los de la etapa “Mes 1” ya que se busca ser conservadores y de esta forma garantizar cierto potencial eólico y dar cabida a un factor de seguridad elevado.

3.2 Selección del microaerogenerador

En esta sección se realizará la selección del microaerogenerador a partir del método multicriterio de apoyo a la decisión (MCDM), método matemático que consta de diferentes etapas y fue creado para evaluar alternativas, para tomar una decisión acertada se deben tomar en consideración varios criterios. Adicionalmente se caracterizará el consumo eléctrico en la finca

La Bella y posteriormente a la selección de aerogenerador se calculará el potencial máximo en la zona y así determinar el suministro energético anual.

3.2.1 Caracterización del consumo energético en la finca La Bella

La principal labor desarrollada es el cultivo del café y árboles frutales, para realizar esta labor se requiere una despulpadora de café movida por un motor durante el tiempo de cosecha y una motobomba para el lavado del café y el sistema de riego en temporada de sequía; aunque en la finca La Bella no cuentan con el servicio eléctrico, a partir de la opinión y las necesidades de los habitantes, se determinó el tiempo de uso y número de equipos requeridos para las actividades diarias y productivas.

Tabla 3-19

Tabla de consumo eléctrico estimado en la finca La Bella.

Equipo	Consumo (W)	Número de equipos	Horas de consumo	Wh/día	kWh/día	kWh/mes
Nevera	400	1	16	6400	6,4	192
Bombilla	15	10	5	750	0,75	22,5
Lámpara Exterior	150	2	4	1200	1,2	36
Televisor	62	1	12	744	0,744	22,32
Motor Despulpadora	746	1	1	746	0,746	22,38
Cargador de Celular	5	3	6	90	0,09	2,7
Motobomba	746	1	2	1492	1,492	44,76
Equipo de sonido	220	1	5	1100	1,1	33
Licuada	350	1	0,1	35	0,035	1,05
Cerca Eléctrica	5	1	24	120	0,12	3,6
			Total	12677	12,677	380,31

Nota: V. Cuenca, 2021.

Como se puede observar en la Tabla 3-19 se estima un consumo de 12,677 kWh al día lo que da como resultado un total de 380,31 kWh al mes. Esto representaría un cambio en la calidad de vida de las personas que habitan y conviven con tradiciones de antaño para realizar sus labores diarias.

3.2.2 Modelos de microaerogeneradores

El uso de la energía eólica es un recurso que no tiene un uso extendido en Colombia sin embargo las empresas en el exterior tienen la tecnología y hacen posible que sus productos lleguen a Colombia a través de importadores.

Para la selección del microaerogenerador encontramos 5 empresas que cuentan con el equipo necesario para la importación de estos a Colombia; Hengfeng-power, Aeolos Wind Turbine, Flytpower, Enair, Wattuneed, los costos de envío están alrededor de 350 dólares.

Los modelos se seleccionaron teniendo en cuenta la demanda de electricidad en el sitio objeto de estudio y proceden de las empresas mencionadas anteriormente y sus características se observan en la Tabla 3-20 y serán evaluados por medio del método de decisión multicriterio.

Tabla 3-20
Ficha técnica de microaerogeneradores.

Características	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
Empresa	Hengfeng-Power	Aeolos Wind Turbine	Flytpower	Enair	Wattuneed
Modelo	HF4.0-2000W	Aeolos-H 2kW	FH-2000	Enair 30 Pro	1kW Bergey
Procedencia	China	China	China	España	EE. UU.
Potencia nominal [W]	2000	2000	2000	3000	1000
Potencia de salida máxima [W]	3000	3000	2100	1900	1300
Voltaje de salida [V]	48/96	96/200	48/220	24/48/220	24/48
Cantidad de cuchillas	3 Glass Fiber Blades	3 Glass Fiber Blades	3 Aluminum alloy	3 Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano	3 Pultrusionados y Fibra de vidrio
Diámetro de la pala del rotor [m]	4	4	2	3,8	2,5
Velocidad del viento de arranque [m/s]	3	2,5	2,5	1,8	3
Velocidad nominal del viento [m/s]	8	12	10	11	11
Velocidad del viento de supervivencia [m/s]	50	45	45	60	54
Generador	Three Phase Permanent Magnetic Generator	Three Phase Permanent Magnetic Generator			
Peso de la turbina [kg]	100	125 kg (275.5 lbs)	188	125	43
Rango de temperatura	-40°C to +80°C	-20°C to +50°C	-40°C to +80°C	-50°C to +60°C	-40°C to +60°C
Vida útil del diseño [años]	20	20	20	25	25
Garantía [años]	5	5	5	5	5
Precio Conjunto [USD]	\$ 1.143	\$ 3.280	\$ 3.070	\$ 11.484	\$ 11.135

Nota: (Aeolos Wind Turbine, 2021; Enair Energy, 2021; hengfeng-power, 2021; Wattuneed, 2021; Wuxi Flyt New Energy Technology Co, 2021).

3.2.3 Método multicriterio de apoyo a la decisión

En la toma de decisiones hace falta un proceso que consiste en la elección de la mejor alternativa entre un conjunto de posibles soluciones, son definidas a partir de las preferencias o deseos de cada uno de los decisores, en la mayoría de los casos existen limitaciones en los recursos que afectan directamente las restricciones que se imponen a las variables de decisión, gracias a esto se constituye lo que se le denomina el conjunto factible o alcanzable. Este conjunto puede ser continuo cuando existen infinitas soluciones factibles o discreto cuando su número es finito (Bernal Romero & Niño Sanabria, 2018).

Dentro de los métodos de decisión multicriterio podemos encontrar varias metodologías; para este caso se utilizará el método de proceso analítico jerárquico de siglas AHP (Analytic Hierarchy Process) ya que es un método que se basa en evaluar y estructurar un ranking que permite ordenar las alternativas según su nivel de importancia.

La función de criterio se le conoce como “función de utilidad” o “función de valor” y consiste en la asociación de un número real a cada solución factible, que es evaluada y optimizada mediante técnicas matemáticas. Cada uno de los criterios deben ser evaluados y comparados entre sí a fin de establecer una relación en la que se determine un valor mayor, menor o igual entre estos criterios; para definir esta función es necesario separarla en dos fases, en la primera usando la información técnica se concreta lo que es posible y en la segunda los juicios de los tomadores de decisión definen lo que es mejor.

El método AHP será utilizado para seleccionar el microaerogenerador y este proceso se llevará a cabo en las siguientes etapas:

I. Etapa 1. Definición del problema.

El principal problema que se busca solucionar con el método multicriterio de apoyo a la decisión es la selección del microaerogenerador, pero existen distintos modelos, con diferentes características, prestaciones y precios; la investigación busca encontrar la mejor solución factible en función de los diferentes criterios que deben ser tomados en consideración para que los tomadores de decisión identifiquen la mejor de entre todas las alternativas.

II. Etapa 2. Determinar los requisitos.

Los requisitos que se deben cumplir para pertenecer al grupo de microaerogeneradores a seleccionar son:

- Producción energética: el microaerogenerador debe generar más de 380 kWh/mes.
- Condiciones ambientales: debido a que la zona objeto de estudio se encuentra en un clima tropical debe soportar condiciones climáticas moderadas.
- Disponibilidad: a causa de que en el mercado se encuentran distintos modelos de microaerogeneradores, sin embargo, no se garantiza la importación a Colombia.
- Peso: el peso del aerogenerador no debe exceder 150 kg ya puede incrementar significativamente el costo de la estructura y del flete.

III. Etapa 3. Definición del objetivo.

El objetivo de los investigadores al aplicar el método AHP es valorar las alternativas y establecer un ranking a fin de obtener puntajes ponderados que califiquen cada microaerogenerador y en base a estos resultados tomar una decisión.

IV. Etapa 4. Definición de los criterios.

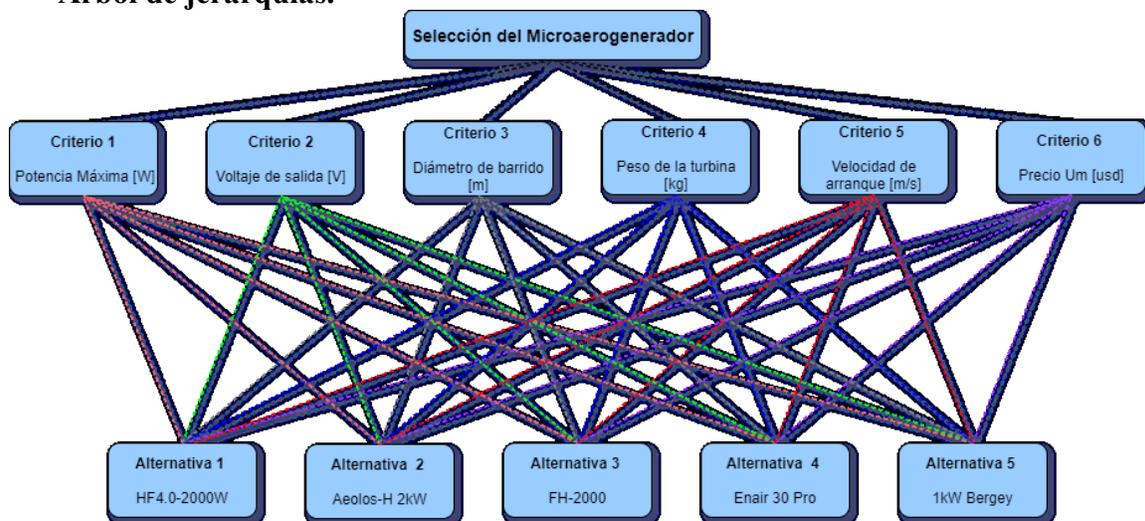
Esta etapa se enfoca en la designación de los criterios apropiados para evaluar cada microaerogenerador, en función de sus características técnicas y aspectos de relevancia. Para la designación de cada uno de los criterios es importante respetar las siguientes propiedades;

completitud (deben estar todos los criterios importantes), redundancia (excluir criterios que por su desempeño similar no aportan a la decisión), sobreposición (evitar el doble conteo) e independencia (el desempeño de un criterio no interfiere con el desempeño de otro) (Bernal Romero & Niño Sanabria, 2018).

- Potencia máxima: Potencia máxima que puede producir el aerogenerador.
- Voltaje de salida: Afecta directamente las características de los demás componentes.
- Diámetro de barrido: El potencial eólico es directamente proporcional al área de barrido.
- Peso del microaerogenerador: Infiere en los costos de la torre y del flete.
- Velocidad de arranque: Establece el requisito mínimo en la velocidad del viento para el funcionamiento del microaerogenerador.
- Precio: Afecta directamente a la factibilidad económica y el retorno de inversión.

La construcción del modelo jerárquico hace necesario desagregar el problema entre sus componentes hasta llegar a un orden jerárquico de todas ellas; para este análisis se ha dividido en tres niveles como se aprecia en la Ilustración 3-5.

Ilustración 3-5
Árbol de jerarquías.



Nota: J. Ortiz, 2021.

V. Etapa 5. Ponderación de criterios.

La escala de comparación es el eje sobre el cual se cimienta la toma de decisiones en el método AHP; esto se debe a que el cerebro humano está diseñado para realizar comparaciones entre dos alternativas. Para efectos de esta investigación se establece una escala de comparación en la Tabla 3-21 que será utilizada para la creación de la matriz de criterios.

Tabla 3-21

Principio de establecimiento de prioridades.

Tabla de ponderación pareada		
IGUAL	1	El criterio A es igual de importante que el criterio B.
MODERADA	3	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B.
FUERTE	5	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B.
MUY FUERTE	7	El criterio A es mucho más importante que el criterio B.
EXTREMA	9	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda.

Nota: J. Ortiz, 2021.

En base a los criterios presentados en la Etapa 4 se evalúan el nivel de importancia entre cada uno de los criterios utilizando la Tabla 3-20 como método de evaluación; en el apartado Matriz de comparación de criterios se aprecia la columna criterios que se establece como base para evaluar los niveles de importancia. Por ejemplo; al seleccionar de la columna “Criterios” el criterio (A) denominado “Potencia Máxima” y compararlo con el criterio (B) denominado “Voltaje de salida” se determinó que la experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B en consecuencia en la casilla donde se interceptan se le asigna la calificación 5, el segundo paso es seleccionar de la columna “Criterios” el criterio “Voltaje de salida” y a la casilla donde se intercepta con el criterio “Potencia Máxima” se le asigna el inverso de la calificación anterior es decir $1/5$ que es igual a 0,2.

Tabla 3-22

Tabla de comparación de criterios.

Matriz de comparación de criterios									
Criterios	Potencia máxima	Voltaje de salida		Diámetro de barrido		Peso de la turbina	Velocidad de arranque		Precio
Potencia máxima	1,00	5,00		1,00		5,00	3,00		0,33
Voltaje de salida	0,2	1,00		0,20		0,33	3,00		0,20
Diámetro de barrido	1,00	5,00		1,00		3,00	7,00		1,00
Peso de la turbina	0,20	3,00		0,33		1,00	3,00		0,33
Velocidad arranque	0,33	0,33		0,14		0,33	1,00		0,14
Precio	3,00	5,00		1,00		3,00	7,00		1,00
Total	5,73	19,33		3,68		12,67	24,00		3,01
Criterios	Matriz normalizada						Sumatoria	Ponderación (Wi)	%
Potencia máxima	0,17	0,26	0,27	0,39	0,13	0,11	1,34	0,22	22%
Voltaje de salida	0,03	0,05	0,05	0,03	0,13	0,07	0,36	0,06	6%
Diámetro de barrido	0,17	0,26	0,27	0,24	0,29	0,33	1,57	0,26	26%
Peso de la turbina	0,03	0,16	0,09	0,08	0,13	0,11	0,60	0,10	10%
Velocidad arranque	0,06	0,02	0,04	0,03	0,04	0,05	0,23	0,04	4%
Precio	0,52	0,26	0,27	0,24	0,29	0,33	1,91	0,32	32%
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,00	1,00	1,00

Nota: J. Ortiz, 2021.

El procedimiento para la sintetización del juicio se ve reflejado en el apartado “Matriz normalizada” que fue obtenida a partir de los siguientes pasos, se debe sumar los valores en cada columna de la matriz de comparación de criterios, luego dividir cada elemento de la matriz

comparación de criterios entre el total de su columna. Al realizar la sumatoria de cada fila de la Matriz normalizada obtenemos los valores para la columna “Sumatoria” la ponderación se obtiene al dividir cada elemento de la columna “Sumatoria” entre el total de la misma columna; de esta forma se obtiene que el nivel de importancia representado en el Gráfica 3-14.

Gráfica 3-14

Gráfica de nivel de importancia de los criterios.



Nota: J. Ortiz, 2021.

Después de obtener los resultados de la matriz de criterios, se debe hacer una evaluación de consistencia, que sirve para determinar si las calificaciones dentro de la matriz de comparación de criterios fueron lógicas. El AHP ofrece un método para medir este grado de consistencia entre las opiniones pareadas que son dadas por los decisores; si el grado de consistencia es “Aceptable” se puede continuar con el proceso de decisión.

En la Tabla 3-23 se tiene a “ n ” como el número de criterios. El índice de consistencia aleatorio para este proyecto es 1,24 ya que se están evaluando seis criterios, a partir de esta información se procede a calcular Landa Max que es el resultado de hacer el producto suma entre el total de la matriz de comparación de criterios y la columna “Ponderación (W_i)” de la Tabla 3-22, finalmente se calcula el índice de consistencia “ IC ” y la relación entre los índices de consistencia “ RIC ”; con este resultado aplicamos la razón de consistencia que establece que si el

RIC es menor o igual a 0,10 entonces la consistencia es razonable o aceptable, si el RIC es mayor a 0,10 es inconsistente (Saaty, 1987).

Tabla 3-23

Tabla de validación de matriz de criterios.

Validación de matriz de criterios								
n	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49
Landa Max	$\sum(N*W_i)$		6,53					
IC	$(Landa\ Max-n)/(n-1)$		0,106					
RIC	IC/ICA		0,085					
Valido si	RIC<0,10		Aceptable					

Nota: J. Ortiz, 2021.

VI. Etapa 6. Comparación de alternativas.

Para evaluar las alternativas, primero se establecieron cinco rangos con la finalidad de categorizar la información de cada modelo; para ello se utilizó la información en la Tabla 3-24 donde en rango 1 es el más deseado y el rango 5 es el menos deseado.

Tabla 3-24

Tabla de ponderación pareada de alternativas.

Tabla de Rangos						
Rango	Potencia máxima [W]	Voltaje de salida [V]	Diámetro de barrido [m]	Peso de la turbina [kg]	Velocidad de arranque [m/s]	Precio Um [USD]
1	3000 a 2500	24	4,5 a 3,9	10 a 50	1,6 a 2,0	\$ 1.000 a \$ 1.999
2	2499 a 2000	48	3,8 a 3,2	51 a 100	2,1 a 2,5	\$ 2.000 a \$ 2.999
3	1999 a 1500	96	3,1 a 2,5	101 a 150	2,6 a 3,0	\$ 3.000 a \$ 4.000
4	1499 a 1000	200	2,4 a 1,8	151 a 200	3,1 a 3,5	\$ 5.000 a \$ 6.000
5	999 a 100	220	1,7 a 1,0	201 a 250	3,6 a 4,0	\$ 7.000 o Mayor

Nota: J. Ortiz, 2021.

El segundo paso es construir la tabla de ponderación pareada de alternativas; donde se establece la escala de comparación que será utilizada para la creación de la matriz de alternativas.

Tabla 3-25
Tabla de ponderación pareada de alternativas.

Ponderación	Tabla de ponderación pareada de alternativas
1	La alternativa A se encuentra en el mismo rango que la alternativa B.
3	La alternativa A se encuentra a dos espacios de rango que la alternativa B.
5	La alternativa A se encuentra a tres espacios de rango que la alternativa B.
7	La alternativa A se encuentra a Cuatro espacios de rango que la alternativa B.
9	La alternativa A se encuentra a Cinco espacios de rango que la alternativa B.

Nota: J. Ortiz, 2021.

Teniendo en cuenta la Tabla de ponderación pareada de alternativas se procede a evaluar cada uno de los modelos en función de cada criterio. para la creación de matriz de comparación de alternativas se utilizó el mismo procedimiento efectuado en la “Etapa 5. Ponderación de criterios.” Pero esta vez comparando los modelos entre sí.

Tabla 3-26
Tabla de comparación de alternativas.

Potencia máxima [W]	Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada					Sumatoria	Potencia máxima	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5							
Modelo 1	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	0,37	0,37	0,40	0,35	0,30	1,80	0,36	36%
Modelo 2	1,00	1,00	3,00	5,00	7,00	0,37	0,37	0,40	0,35	0,30	1,80	0,36	36%
Modelo 3	0,33	0,33	1,00	3,00	5,00	0,12	0,12	0,13	0,21	0,22	0,81	0,16	16%
Modelo 4	0,20	0,20	0,33	1,00	3,00	0,07	0,07	0,04	0,07	0,13	0,39	0,08	8%
Modelo 5	0,14	0,14	0,20	0,33	1,00	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04	0,20	0,04	4%
Total	2,68	2,68	7,53	14,33	23,00	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%
Voltaje de salida [V]	Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada					Sumatoria	Voltaje de salida	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5							
Modelo 1	1,00	3,00	1,00	0,33	0,33	0,12	0,18	0,12	0,12	0,12	0,65	0,13	13%
Modelo 2	0,33	1,00	0,33	0,20	0,20	0,04	0,06	0,04	0,07	0,07	0,28	0,06	6%
Modelo 3	1,00	3,00	1,00	0,33	0,33	0,12	0,18	0,12	0,12	0,12	0,65	0,13	13%
Modelo 4	3,00	5,00	3,00	1,00	1,00	0,36	0,29	0,36	0,35	0,35	1,71	0,34	34%
Modelo 5	3,00	5,00	3,00	1,00	1,00	0,36	0,29	0,36	0,35	0,35	1,71	0,34	34%
Total	8,33	17,00	8,33	2,87	2,87	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%
Diámetro de barrido [m]	Matriz de comparación de alternativas					Matriz normalizada					Sumatoria	Diámetro de barrido	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5							
Modelo 1	1,00	1,00	7,00	3,00	5,00	0,37	0,37	0,30	0,40	0,35	1,80	0,36	36%
Modelo 2	1,00	1,00	7,00	3,00	5,00	0,37	0,37	0,30	0,40	0,35	1,80	0,36	36%
Modelo 3	0,14	0,14	1,00	0,20	0,33	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,20	0,04	4%
Modelo 4	0,33	0,33	5,00	1,00	3,00	0,12	0,12	0,22	0,13	0,21	0,81	0,16	16%
Modelo 5	0,20	0,20	3,00	0,33	1,00	0,07	0,07	0,13	0,04	0,07	0,39	0,08	8%
Total	2,68	2,68	23,00	7,53	14,33	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%

Peso de la turbina [kg]	Matriz de comparación de alternativas						Matriz normalizada					Sumatoria	Peso de la turbina	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5								
	Modelo 1	1,00	3,00	7,00	3,00	0,33	0,21	0,29	0,33	0,29	0,18	1,30	0,26	26%
	Modelo 2	0,33	1,00	3,00	1,00	0,20	0,07	0,10	0,14	0,10	0,11	0,51	0,10	10%
	Modelo 3	0,14	0,33	1,00	0,33	0,14	0,03	0,03	0,05	0,03	0,08	0,22	0,04	4%
	Modelo 4	0,33	1,00	3,00	1,00	0,20	0,07	0,10	0,14	0,10	0,11	0,51	0,10	10%
	Modelo 5	3,00	5,00	7,00	5,00	1,00	0,62	0,48	0,33	0,48	0,53	2,46	0,49	49%
Total	4,81	10,33	21,00	10,33	1,88	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%	

Velocidad de arranque [m/s]	Matriz de comparación de alternativas						Matriz normalizada					Sumatoria	Velocidad arranque	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5								
	Modelo 1	1,00	0,33	0,33	0,20	1,00	0,08	0,04	0,06	0,10	0,10	0,37	0,07	7%
	Modelo 2	3,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,23	0,12	0,18	0,16	0,03	0,72	0,14	14%
	Modelo 3	3,00	1,00	1,00	0,33	3,00	0,23	0,12	0,18	0,16	0,29	0,98	0,20	20%
	Modelo 4	5,00	3,00	3,00	1,00	5,00	0,38	0,36	0,53	0,48	0,48	2,24	0,45	45%
	Modelo 5	1,00	3,00	0,33	0,20	1,00	0,08	0,36	0,06	0,10	0,10	0,69	0,14	14%
Total	13,00	8,33	5,67	2,07	10,33	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%	

Precio Um [USD]	Matriz de comparación de alternativas						Matriz normalizada					Sumatoria	Precio	%
	Alternativas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5								
	Modelo 1	1,00	5,00	5,00	9,00	9,00	0,62	0,69	0,69	0,36	0,36	2,71	0,54	54%
	Modelo 2	0,20	1,00	1,00	7,00	7,00	0,12	0,14	0,14	0,28	0,28	0,96	0,19	19%
	Modelo 3	0,20	1,00	1,00	7,00	7,00	0,12	0,14	0,14	0,28	0,28	0,96	0,19	19%
	Modelo 4	0,11	0,14	0,14	1,00	1,00	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04	0,19	0,04	4%
	Modelo 5	0,11	0,14	0,14	1,00	1,00	0,07	0,02	0,02	0,04	0,04	0,19	0,04	4%
Total	1,62	7,29	7,29	25,00	25,00	1	1	1	1	1	5,00	1,00	100%	

Nota: J. Ortiz, 2021.

VII. Etapa 7. Resultado final.

Una vez realizado la totalidad de comparaciones se obtiene el resultado final consensuado; es decir todos los juicios u opiniones son combinados en un todo por el AHP a través de las comparaciones de cada uno de los criterios y alternativas llevada a cabo por los autores quedan organizadas desde la mejor hasta la peor como se aprecia en la Tabla 3-27.

Tabla 3-27

Tabla de resultados.

Alternativas	Criterios						Ponderación	%
	Potencia máxima	Voltaje de salida	Diámetro de barrido	Peso de la turbina	Velocidad arranque	Precio		
Modelo 1	36%	13%	36%	26%	7%	54%	0,38	38%
Modelo 2	36%	6%	36%	10%	14%	19%	0,25	25%
Modelo 3	16%	13%	4%	4%	20%	19%	0,13	13%
Modelo 4	8%	34%	16%	10%	45%	4%	0,12	12%
Modelo 5	4%	34%	8%	49%	14%	4%	0,12	12%
Ponderación de criterios	22%	6%	26%	10%	4%	32%	1,00	100%

Nota: J. Ortiz, 2021.

Una vez obtenidos los resultados en la Tabla 3-26 se ordenan como se muestra en la Tabla 3-27, luego se procede a hacer una suma de productos entre la ponderación de los criterios y los resultados para cada uno de los modelos y así se obtiene la columna de ponderación, la cual indica los resultados presentados en el Gráfica 3-15, destacando el Modelo 1 como la mejor alternativa entre un conjunto de posibles soluciones.

Gráfica 3-15

Gráfico de resultados.



Nota: J. Ortiz, 2021.

3.2.4 Descripción del microaerogenerador seleccionado

El aerogenerador seleccionado fue el modelo HF4.0-2000W de la empresa china **Hengfeng-Power** basado en los resultados obtenidos por el método multicriterio AHP el cual tras realizar las comparaciones pareadas y combinarlas arrojó como resultado que el microaerogenerador mencionado anteriormente es el que representa la mejor opción para el proyecto.

El microaerogenerador es de eje horizontal, posee tres cuchillas o palas de fibra de vidrio reforzado, con un diámetro de barrido 4 metros, el direccionamiento lo realiza una veleta de manera pasiva, cuenta con un generador eléctrico de tres fases de imanes permanentes y se

recomienda su instalación a una altura superior de seis metros; a continuación, encontramos la ficha técnica en la Tabla 3-28 y la curva de potencia en la Gráfica 3-16.

Tabla 3-28

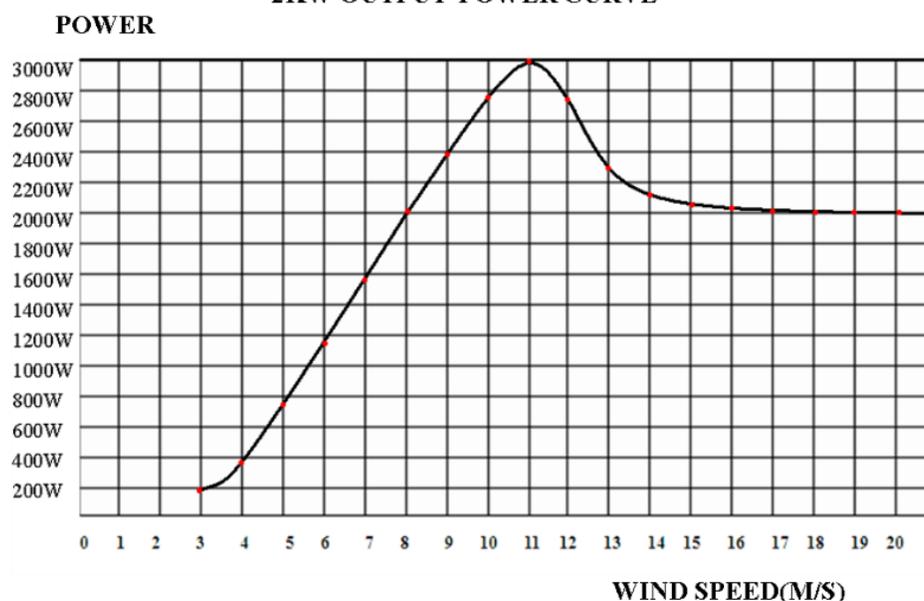
Ficha técnica del aerogenerador HF4.0-2000W.

Características	Modelo 1
Modelo	HF4.0-2000W
Procedencia	China
Potencia nominal [W]	2000
Potencia de salida máxima [W]	3000
Voltaje de salida [V]	48/96
Cantidad de cuchillas	3 Glass Fiber Blades
Diámetro de la pala del rotor [m]	4
Velocidad del viento de arranque [m/s]	3
Velocidad nominal del viento [m/s]	8
Velocidad del viento de supervivencia [m/s]	50
Generador	Three Phase Permanent Magnetic Generator
Peso de la turbina [kg]	100
Rango de temperatura	-40°C to +80°C
Coefficiente de potencia (CP)	0,4
Vida útil del diseño (años)	20
Garantía (años)	5
Precio Conjunto [USD]	\$ 1.143

Nota: (hengfeng-power, 2021).

Gráfica 3-16

**Curva de potencia del microaerogenerador HF4.0-2000W.
2KW OUTPUT POWER CURVE**



Nota: (hengfeng-power, 2021).

3.2.5 Cálculo de la potencia máxima del lugar de estudio

A partir de la información de la ficha técnica se calcula el área de barrido y se obtiene el coeficiente de potencia del microaerogenerador, con estos datos se calcula la potencia máxima que está dada por la Ecuación 3-17.

Tabla 3-29
Cálculo de potencia máxima.

Parámetros	Símbolo	Valor	
Diámetro	D	4 m	
Densidad del aire	ρ	1,043 Kg/m ³	
Factor de energía	F_e	1,4 m/s	
Velocidad media anual	$\langle v \rangle$	5,7 m/s	
Coefficiente de potencia	Cp	0,4	
Termino	Área de barrido	Potencia disponible	Potencia máxima
Ecuación	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	$Pd = \frac{1}{2} * \rho * Fe * A * (\langle v \rangle^3)$	$Pmax = Cp * Pd$
Resultado	12,566	1601,5	640,6
Unidades	m ²	W	W

Nota: V. Cuenca, 2021.

Posteriormente al cálculo de la potencia máxima se puede interpretar que la producción de energía por hora es de 640,6 Watts en promedio, sin embargo, dada la variación de velocidades del viento según la hora del día esta producción no es homogénea, es decir tendremos horas con mayor producción y horas con menor producción; no obstante, este valor sirve para pronosticar la cantidad de energía que se puede producir.

3.2.6 Estimación del suministro de energía

Para estimar es suministro energético se utilizan los resultados obtenidos por la probabilidad del viento y la curva de potencia del microaerogenerador seleccionado y así estimar la producción de energía en el lapso de una hora, como se muestra en la Tabla 3-30.

Tabla 3-30**Tabla de estimación de producción energética.**

Velocidad del viento (m/s)	Potencia máxima (W)	Probabilidad de Weibull [p(v)]	Potencia neta (W)
0,5	0,33	0,183%	0
1,5	8,84	2,082%	0
2,5	40,94	6,211%	0
3,5	112,35	11,871%	13,337
4,5	238,79	17,205%	41,084
5,5	435,98	19,785%	86,257
6,5	719,64	18,139%	130,532
7,5	1105,50	13,088%	144,694
8,5	1609,28	7,271%	117,007
9,5	2246,71	3,024%	67,951
10,5	3033,50	0,915%	27,758
11,5	3985,38	0,195%	7,786
12,5	5118,07	0,030%	1,521
Total		100%	637,93
Producción de energía al día (kWh/día)	Producción de energía al mes (kWh/mes)	Producción de energía al año (kWh/año)	
15,31	459,31	5588,26	

Nota: V. Cuenca, 2021.

Para calcular la producción energética diaria, mensual y anual primero se debe estimar la energía producida en una hora como se demuestra en la Tabla 3-30; para calcular la energía producida en una hora se utiliza la probabilidad del viento mencionada en la Tabla 3-13 y calcular la potencia máxima para cada intervalo de la velocidad del viento; con el producto entre la probabilidad del viento y la potencia máxima se obtiene la potencia neta, sin embargo esta potencia inicia su producción a partir de la velocidad de arranque del microaerogenerador según el fabricante.

Se estima que la producción de energía será de 15.31 kWh/día, 459.31 kWh/mes, 5588.93 kWh/año, no obstante, al ser conservadores y seleccionar los datos de la etapa “Mes 1” que posee menos potencial eólico se pretende mitigar las pérdidas por rendimiento y así garantizar la producción energética.

Al establecer una relación entre el consumo energético anual (CEA) y la producción de energía eléctrica anual (PEEA) utilizaremos la Ecuación 3-18 de esta manera podemos calcular en qué medida el aerogenerador puede cubrir o no las necesidades energéticas de la finca a partir del consumo energético diario (ECD).

Ecuación 3-18

Relación de consumo vs producción energética.

$$CEA \text{ vs } PEEA = \frac{ECD * 1,15 * 365 \text{ dias}}{PEEA}$$

Fuente: (Letcher, 2017).

Para el cálculo de esta relación se implementa el valor de 1,15 con objetivo de tener un margen de seguridad de carga y la energía necesaria para recargar las baterías.

$$CEA \text{ vs } PEEA = \frac{12.677 \frac{kWh}{\text{dia}} * 1,15 * 365}{5588.26 \frac{kWh}{\text{anual}}} = 0.9522$$

Dado que el resultado es menor a uno la relación indica que la producción energética cubre con las necesidades de la finca y a pesar del margen de seguridad de carga del 15% la producción está en capacidad de suministrar un 4.78% adicional lo que no representa peligro para el sistema. Cabe resaltar que un resultado muy alejado de uno no es bueno ya que si supera cierto umbral puede afectar de manera negativa los equipos y al tener un exceso de carga, o si está por debajo, no cubrirá con las necesidades energéticas.

3.3 Análisis técnico-económico del proyecto

En este capítulo se realizará el análisis técnico-económico con la finalidad de analizar la prefactibilidad financiera del proyecto. Tomando como base los costos asociados al sistema de generación eólica del proyecto, se procederá a obtener información sobre la rentabilidad, retorno de inversión y el costo beneficio.

3.3.1 Costos asociados al proyecto

En un sistema de generación eólica aislado los costos están asociados con la compra de los ítems, transporte, mano de obra y costos administrativos. Dentro de los ítems que encontramos en el sistema eólico son: aerogenerador, controlador de carga, inversor, baterías, cableado, breakers y torre. El transporte representa a los costos de importación y/o envío al lugar objeto de estudio. La mano de obra consiste en el pago de prestación de servicios y el costo de la instalación del microaerogenerador. Los costos administrativos principalmente representan ahorros en la inversión ya que por ley (Ley No 1715 Del 13 de Mayo Del 2014, 2014), se establecen beneficios tributarios de deducción de renta, exclusión del IVA, depreciación acelerada y liberación de aranceles para productos vinculados a fuentes de energías renovables.

Con los requerimientos mencionados anteriormente se establece un listado representado en la Tabla 3-31 con una lista de gastos que representa el 100% de la inversión del proyecto.

Tabla 3-31
Costos del proyecto.

#	Ítem	Referencia	Cant.	Precio unitario USD	Precio unitario COP	Valor total	Envío
1	Microaerogenerador	HF4.0-2kW	1	\$ 1.143	\$ 4.301.109	\$ 4.301.109	\$ 1.618.090
2	Controlador de carga aislado	Controlador carga MPPT 80A 12/24V/48V PC1800F Series	1	-	\$ 990.000	\$ 990.000	\$ 350.000
3	Inversor aislado	PV3300 TLV Series (1KW-6KW)	1	-	\$ 2.820.000	\$ 2.820.000	
4	Batería AGM 12V 18Ah	Ultracell UC 18-12	4	-	\$ 152.618	\$ 610.472	
5	Cableado manguera	4 x 6mm RZ1-K5203003	30	-	\$ 19.040	\$ 571.200	
6	Breaker 1	Polo 20A UL NB1	2	-	\$ 15.470	\$ 30.940	
7	Tubería para cableado	Conduit 1/2-pulg x 3mt	10	-	\$ 5.100	\$ 51.000	
8	Torre	Estructura torre	1	-	\$ 2.822.350	\$ 2.822.350	

9	Cimentación y puntos de anclaje	Contrato que cubre materiales y mano de obra para la cimentación del emplazamiento	1	-	\$ 786.200	\$ 786.200	-	
10	Instalación de componentes	Instalación de los componentes eléctricos con accesorios e insumos	1	-	\$ 650.000	\$ 650.000	-	
						Sub-Total	\$ 13.633.271	\$ 1.968.090
Dólar \$ 3763						Total	\$ 15.601.361	
15 OCT 2021, 8:50 P.m.								

Nota: Anexo B, Ficha técnica y cotizaciones; 2021.

En la Tabla 3-31 encontramos: Ítem; es el nombre del componente o servicio, Referencia; es el nombre dado por el fabricante, Precio unitario; es el valor individual de cada ítem y puede estar en dólares (USD) o en pesos colombianos (COP), Valor total; es el producto entre el valor unitario y la cantidad a comprar y Envío es el costo del transporte nacional e internacional hasta el municipio de Acevedo.

Las cotizaciones de los ítems fueron proporcionadas por las empresas AutoSolar Energía de Colombia SAS que, gracias a sus certificaciones, gran variedad de productos y la oportunidad de transportar todos los componentes en un solo envío. La cotización contiene los precios de: controlador de carga, inversor, batería, cableado, tubería y breaker; adicionalmente Hengfeng-Power cotizó el precio del microaerogenerador con su respectiva importación. La cimentación y puntos de anclaje hace referencia a la construcción de los cimientos para la torre y los tres puntos de anclajes que sujetaran la estructura con cable incluido en la cotización. Los costos de la torre fueron cotizados por la empresa “Estructuras Valencia” que incluye: construcción de la torre (materiales incluidos), transporte de la torre, instalación de la estructura y el microaerogenerador en el emplazamiento con sus respectivos puntos de anclaje.

En la Tabla 3-31 se encuentran detallados los costos de inversión inicial, no se encuentran los costos de operación y mantenimiento ya que el fabricante manifiesta que los aerogeneradores de Hengfeng-Power no lo necesitan, sin embargo el fabricante expresa se debe realizar inspecciones cada dos años y dicha inspección consta de: revisión del estado de las escobillas, verificación de ruidos anormales en rodamientos, comprobar que todos los pernos no estén flojos y realizar una inspección visual de los componentes eléctricos como cableado, etc.; el costo de estas inspecciones según el fabricante usualmente representan el 2% del costo del aerogenerador teniendo en cuenta que se debe realizar cada dos años.

3.3.2 Análisis financiero

El análisis financiero se calcula generalmente utilizando los parámetros para evaluar la factibilidad financiera que son: el valor presente neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR), el periodo de recuperación de la inversión y el índice costo beneficio (I C/B). Todos estos parámetros se utilizarán para evaluar el proyecto.

Antes de realizar el análisis financiero se calcula el valor que representaría el consumo promedio de electricidad en el lugar objeto de estudio, utilizando el consumo mensual para así obtener el consumo anual promedio y así calcular el costo anual de electricidad como se aprecia en la Tabla 3-32.

Tabla 3-32
Valor estimado del consumo.

Consumo mensual	Costo unitario de prestación de servicio	Subsidio	Tarifa aplicada	Total, a pagar mensualmente (COP)	Total, a pagar anualmente (COP)
380,31 kWh	700,4 \$/kWh	42,61 \$/kWh	657,87 \$/kWh	\$ 250.194	\$ 3.044.033

Nota: (Electro Huila, 2021); Elaborado: V. Cuenca, 2021.

- Valor presente neto

El valor presente neto se define como el valor presente de los flujos de efectivo de entrada y de salida de un proyecto de inversión. Por lo tanto, el valor presente neto muestra el beneficio total obtenido de un proyecto y se calcula utilizando la Ecuación 3-19.

Ecuación 3-19

Valor presente neto.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}$$

Fuente: (Gómez Rodríguez et al., 2020).

Donde:

n = Tiempo de vida del proyecto. t = Periodo de tiempo el cual se expresa en años.

$1 + k$ = Tasa real de descuento. F_t = Todos los ingresos del proyecto durante un año t .

I_0 = Costos de inversión. C_t = Son los Costos de Periódicos.

El resultado sirve como criterio para evaluar si el proyecto debe llevarse a cabo o no; si el VPN es mayor que cero indica que el proyecto generará beneficios, si el VPN es igual a cero no generará beneficios ni pérdidas y finalmente si el VPN es menor que cero generará pérdidas y debe ser rechazado. Cabe aclarar que el VPN **NO** proporciona la rentabilidad del proyecto si no una medida de rentabilidad en valor absoluto.

- Tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno está definida por el valor de la tasa de descuento con la cual el valor presente se vuelve cero, es decir, cuando el valor presente de todos los costos es igual al valor presente de todos los ingresos de esta forma se obtiene la Ecuación 3-20.

Ecuación 3-20**Tasa interna de retorno.**

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = I_0 - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t}$$

Fuente: (Gómez Rodríguez et al., 2020).

Donde TIR es la tasa interna de retorno y es el porcentaje de beneficio o pérdida asociado a cualquier inversión es decir cuando un proyecto tiene una interna de retorno mayor a la tasa de descuento es porque es factible.

- Periodo recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión n , es el tiempo en el cual se espera recuperar la inversión inicial con los flujos de efectivo en los siguientes años y se calcula con la Ecuación 3-21.

Ecuación 3-21**Periodo de recuperación de la inversión.**

$$n = t, \text{ si } I_0 - \sum_{t=0} FC_t = 0$$

Fuente: (Gómez Rodríguez et al., 2020).

Donde FC_t es el flujo de efectivo en el año t .

- Índice costo beneficio

La proporción costo-beneficio es la razón entre el valor presente acumulado de todos los beneficios con respecto al valor presente acumulado de todos los costos, incluyendo la inversión inicial se calcula mediante la Ecuación 3-22.

Ecuación 3-22**Índice costo beneficio.**

$$I C/B = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}}{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+k)^t}}$$

Fuente: (Gómez Rodríguez et al., 2020).

Para determinar si un proyecto debe ser aceptado se toma en cuenta el resultado obtenido por el I C/B, que indica que: si el valor es mayor a uno quiere decir que los beneficios superan los costos por ende el proyecto debe ser considerado, si el valor es igual a uno indica que el proyecto no genera beneficios ni pérdidas y si el valor es menor a uno esa indica que los costos superan a los beneficios en este caso el proyecto no debe considerarse.

Suposiciones análisis financiero.

Para realizar el análisis financiero se calculará el valor presente neto, la tasa interna de retorno, el periodo de recuperación de la inversión y el índice de costo beneficio bajo los siguientes parámetros:

- El capital inicial se calculó asumiendo el valor de \$ 15.601.361 expresado en la Tabla 3-31.
- El tiempo de inversión del proyecto será de 20 años teniendo en cuenta la vida útil del microaerogenerador.
- Los ingresos corresponden al valor monetario que tendría 4627.105 kWh/años expresados en la Tabla 3-32 con una tasa de inflación del 1,97% correspondiente a septiembre de 2020.
- Se asume una tasa de descuento del 10%, indicando cuánto vale ahora el dinero que se recibirá en una fecha posterior.
- Los egresos corresponden a el costo de la inspección de todo el sistema de generación eólico (microaerogenerador, controlador de carga, inversor, baterías y cableado eléctrico) este representará el 2% y tendrá lugar cada 2 años.

Tabla 3-33

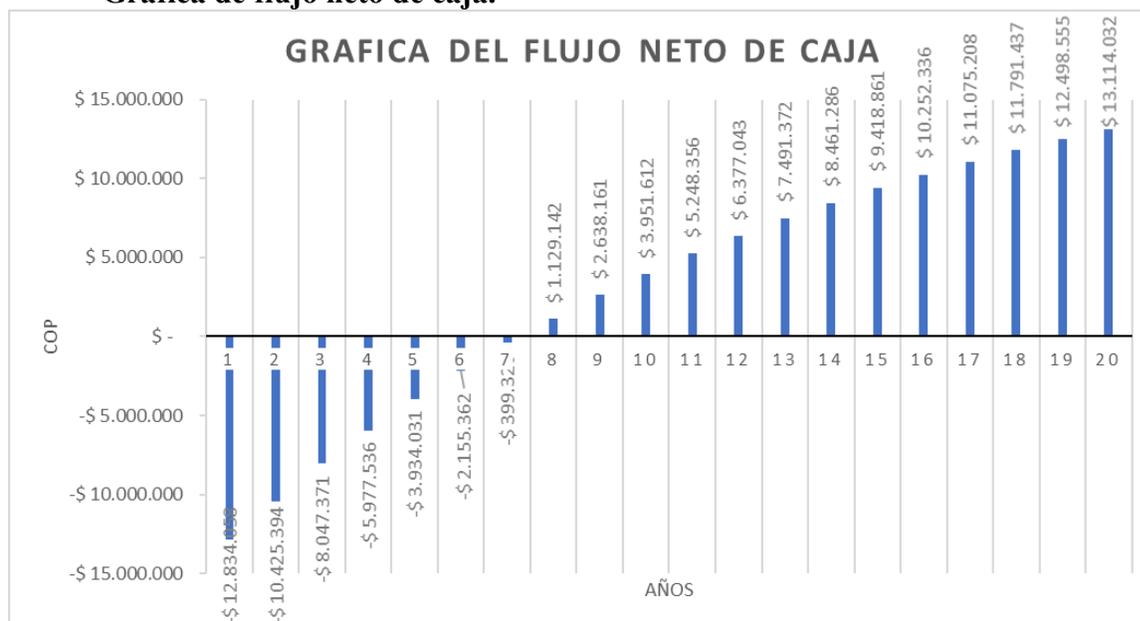
Análisis financiero del proyecto.

Parámetros del análisis					
Capital Inicial (COP)	\$ 15.601.361	Tasa de Inflación por Año	1,97%		
Tiempo de Inversión [Año]	20	Tasa de Descuento	10,00%		
Ingreso Anual (COP)	\$ 3.044.033	Egreso cada dos años	2%		
Tiempo inversión	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	Valor presente	Flujo neto de caja
1	\$ 3.044.033		\$ 2.767.303	\$ 2.767.303	-\$ 12.834.058
2	\$ 3.104.000	\$ 189.517	\$ 2.565.290	\$ 2.408.664	-\$ 10.425.394
3	\$ 3.165.149		\$ 2.378.023	\$ 2.378.023	-\$ 8.047.371
4	\$ 3.227.503	\$ 197.058	\$ 2.204.428	\$ 2.069.835	-\$ 5.977.536
5	\$ 3.291.085		\$ 2.043.505	\$ 2.043.505	-\$ 3.934.031
6	\$ 3.355.919	\$ 204.898	\$ 1.894.329	\$ 1.778.669	-\$ 2.155.362
7	\$ 3.422.030		\$ 1.756.043	\$ 1.756.043	-\$ 399.320
8	\$ 3.489.444	\$ 213.051	\$ 1.627.852	\$ 1.528.462	\$ 1.129.142
9	\$ 3.558.187		\$ 1.509.018	\$ 1.509.018	\$ 2.638.161
10	\$ 3.628.283	\$ 221.527	\$ 1.398.860	\$ 1.313.452	\$ 3.951.612
11	\$ 3.699.760		\$ 1.296.743	\$ 1.296.743	\$ 5.248.356
12	\$ 3.772.645	\$ 230.342	\$ 1.202.081	\$ 1.128.687	\$ 6.377.043
13	\$ 3.846.966		\$ 1.114.329	\$ 1.114.329	\$ 7.491.372
14	\$ 3.922.752	\$ 239.506	\$ 1.032.983	\$ 969.914	\$ 8.461.286
15	\$ 4.000.030		\$ 957.575	\$ 957.575	\$ 9.418.861
16	\$ 4.078.830	\$ 249.036	\$ 887.672	\$ 833.475	\$ 10.252.336
17	\$ 4.159.183		\$ 822.872	\$ 822.872	\$ 11.075.208
18	\$ 4.241.119	\$ 258.945	\$ 762.803	\$ 716.229	\$ 11.791.437
19	\$ 4.324.669		\$ 707.118	\$ 707.118	\$ 12.498.555
20	\$ 4.409.865	\$ 269.248	\$ 655.498	\$ 615.476	\$ 13.114.032
Total				\$ 28.715.393	
Valor Presente Neto (VPN)	Tasa Interna de retorno (TIR)		Periodo de Recuperación de la Inversión	Índice Costo Beneficio (I C/B)	
\$ 13.114.032	21,41%		7,2613 Año	1,796	

Nota: V. Cuenca, 2021.

El valor del flujo neto de caja es un informe financiero y su valor final, representa la cantidad de dinero con la que queda al final de un periodo de tiempo determinado, como se puede apreciar en la Gráfica 3-17.

Gráfica 3-17
Gráfica de flujo neto de caja.



Nota: V. Cuenca, 2021.

Como se evidencia la Tabla 3-33, el resultado obtenido del VPN equivale a \$ 13.114.032 que representan el total neto de beneficios que generaría el proyecto, cabe aclarar que esta rentabilidad es una media en valor absoluto. La TIR nos define el porcentaje de retorno que generarían los proyectos, en este proyecto la rentabilidad es del 21,41%. El periodo en el que se recuperaría la inversión corresponde a los 7 años y 96 días aproximadamente de haberse realizado la inversión. El índice de costo beneficio del proyecto es de 1.796 lo cual indica que los beneficios superaran los costos, en consecuencia, el proyecto debe ser considerado.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

A partir del estudio realizado y la consolidación de los objetivos específicos inicialmente formulados, se logró atender el objetivo general del proyecto. Se concluyó que la implementación de un microaerogenerador es prefactible porque soluciona la ausencia del servicio eléctrico y se garantiza por un periodo de veinte años.

En lo concerniente al primer objetivo específico se realizó el estudio del viento en la finca La Bella, con los resultados obtenidos en la Etapa Mes 1 (ejecutada entre el 21/08/2021 y el 19/09/2021) y en la Etapa Mes 2 (ejecutada entre el 20/09/2021 y 19/10/2021) se concluye que el potencial eólico es $135,2 \text{ W/m}^2$ y $186,2 \text{ W/m}^2$ respectivamente. Adicionalmente se obtuvo que la velocidad promedio anual del viento se encuentra entre $5,7 \text{ m/s}$ y $6,5 \text{ m/s}$, siendo estas superiores a la velocidad necesaria para obtener un potencial eléctrico.

En relación con el segundo objetivo específico se seleccionó el microaerogenerador utilizando el método multicriterio AHP teniendo en cuenta seis criterios y cinco modelos que satisfagan los requisitos del proyecto, el análisis permitió concluir que el microaerogenerador de la marca Hengfeng-Power correspondiente a la referencia HF4.0-2000W (modelo 1) se seleccionó dado su nivel de importancia en comparación con los otros modelos, siendo capaz de suplir la demanda energética en un 4,78% adicional de lo requerido.

Según el tercer objetivo específico se realizó un análisis técnico- económico con relación al proceso de generación y transformación de energía, con respecto al aspecto técnico se puede concluir que el microaerogenerador tendrá una producción de 15,31 kWh por día, de acuerdo con el aspecto económico se puede afirmar que el proyecto debe ser considerado ya que presenta un índice de costo beneficio del 1,796 y una tasa de retorno del 21,41%, que determinan que la

implementación del microaerogenerador en la finca La Bella es prefactible y se recuperaría la inversión en 7 años y 3 meses.

4.2 Recomendaciones

A partir de la experiencia aprendida y los resultados consolidados en la investigación, se realizan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros:

- Se recomienda seguir con los parámetros para la toma de datos del viento a lo largo de un año para incrementar la exactitud del potencial eólico.
- Con respecto al método multicriterio se debe seguir de manera estricta las propiedades de completitud, redundancia, sobreposición e independencia a fin de tener un índice de consistencia aceptable.
- El uso del método multicriterio para la toma de decisiones es recomendable, porque permite evaluar diferentes aspectos y alternativas entre sí y consolidar todas las decisiones en una sola.
- Llevar a cabo análisis económicos previos a la instalación de un sistema eólico, ya que el mercado es cambiante y constantemente se están presentando alternativas competitivas.

A. Anexo: Resumen de las velocidades del viento

A - 1. Velocidad promedio y máxima del viento por hora durante la Etapa Mes 1 (21 de agosto hasta 19 de septiembre del 2021).

Hora	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5	
	Media	Máximo								
0:00:00	3,941	5,0	5,945	8,7	6,383	9,1	5,677	7,0	5,803	8,7
1:00:00	4,144	4,8	5,043	8,2	5,648	8,7	4,483	6,0	6,572	9,3
2:00:00	3,096	4,4	3,298	5,8	3,998	6,2	4,375	5,3	5,617	8,6
3:00:00	2,787	3,8	3,357	5,1	3,348	6,7	4,033	6,7	5,337	8,2
4:00:00	3,138	4,1	3,477	6,1	2,993	5,0	4,372	6,1	6,708	9,5
5:00:00	4,496	5,0	5,122	7,0	4,078	6,2	2,508	3,4	7,370	10,6
6:00:00	4,185	4,7	3,652	5,8	4,118	6,0	2,657	4,5	7,082	9,1
7:00:00	4,399	4,8	4,028	6,0	4,883	6,1	3,390	4,9	6,738	8,5
8:00:00	4,195	4,7	3,217	5,5	4,240	5,9	4,403	6,3	5,650	7,1
9:00:00	4,247	4,7	5,067	7,0	3,132	5,9	2,693	4,7	5,447	6,9
10:00:00	5,018	6,0	5,013	7,0	5,203	8,5	3,438	5,1	5,173	6,5
11:00:00	4,979	5,8	4,187	7,2	6,565	9,4	4,117	7,5	6,318	10,3
12:00:00	7,037	8,9	5,677	9,5	6,690	9,3	5,873	8,3	8,393	10,8
13:00:00	6,751	8,8	5,908	9,0	6,882	10,2	4,612	7,8	8,068	10,0
14:00:00	6,305	8,4	5,842	10,0	5,322	9,7	4,282	6,4	8,713	11,2
15:00:00	4,737	5,8	5,733	8,1	2,832	4,8	2,712	4,4	6,282	7,5
16:00:00	4,959	6,2	4,573	6,6	3,027	5,2	2,755	4,8	6,002	7,4
17:00:00	4,869	5,9	3,527	6,2	2,960	4,9	2,742	4,7	5,605	6,6
18:00:00	5,081	6,1	3,647	6,9	3,218	5,3	2,780	4,1	5,357	6,5
19:00:00	5,265	6,4	3,070	6,0	3,862	5,9	3,393	5,7	5,413	6,6
20:00:00	4,340	5,8	3,720	6,0	3,585	7,8	2,560	3,0	5,185	6,4
21:00:00	3,845	5,9	4,265	6,8	4,205	6,7	2,437	3,0	3,308	4,9
22:00:00	3,333	4,6	5,708	9,0	5,052	7,4	2,948	4,0	4,717	6,6
23:00:00	4,228	5,2	7,097	12,3	4,495	7,7	3,032	4,0	5,528	7,4

Hora	Dia 6		Dia 7		Dia 8		Dia 9		Dia 10	
	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo	Media	Máximo
0:00:00	3,028	5,1	5,170	8,9	5,587	7,3	5,338	7,6	5,677	7,0
1:00:00	3,162	5,6	4,573	8,7	6,482	7,3	4,278	7,7	4,485	6,0
2:00:00	4,323	7,3	3,542	7,3	6,468	7,5	4,533	8,0	4,375	5,3
3:00:00	5,532	8,4	5,062	7,8	5,412	6,9	4,427	7,9	4,082	6,7
4:00:00	5,882	9,6	4,895	7,3	3,955	4,8	4,540	7,1	4,377	6,1
5:00:00	4,367	7,1	6,407	7,3	2,760	4,4	4,780	7,7	2,707	3,4
6:00:00	6,660	9,4	5,177	6,1	2,718	4,5	5,272	9,0	2,823	4,5
7:00:00	7,713	10,2	4,900	5,9	3,625	4,9	5,617	8,8	3,447	4,9
8:00:00	7,807	9,9	5,847	6,9	3,857	5,4	5,453	8,1	4,428	6,3
9:00:00	7,170	9,5	5,700	7,0	2,665	4,3	5,252	8,0	2,873	4,7
10:00:00	6,693	8,6	4,872	6,0	2,762	5,4	6,280	9,9	3,507	5,1
11:00:00	7,770	11,2	5,898	8,9	4,263	6,1	6,822	9,9	4,198	7,5
12:00:00	8,277	11,1	6,288	9,2	5,625	8,4	7,597	11,7	6,050	8,3
13:00:00	7,795	10,3	6,170	8,4	5,117	7,6	6,273	12,2	4,890	7,8
14:00:00	8,390	10,7	5,725	8,9	5,057	7,6	5,230	7,6	4,752	6,4
15:00:00	6,280	7,8	4,927	6,8	4,225	5,3	4,253	5,4	2,877	4,4
16:00:00	6,000	7,4	6,405	7,4	3,127	5,3	3,140	5,2	2,928	4,8
17:00:00	5,570	6,6	6,503	7,5	3,248	5,5	3,337	5,6	2,937	4,7
18:00:00	5,393	6,6	5,773	7,2	2,707	4,7	2,722	4,2	2,920	4,1
19:00:00	5,415	6,6	4,402	5,9	3,908	6,0	3,998	5,9	3,490	5,7
20:00:00	5,152	6,7	2,903	4,5	4,085	5,8	4,100	6,2	2,705	3,0
21:00:00	3,332	4,8	2,983	4,7	4,230	8,0	4,278	7,6	2,692	3,0
22:00:00	4,770	6,5	3,887	5,8	5,998	9,6	6,060	9,3	3,393	4,0
23:00:00	5,552	7,1	3,868	6,4	6,038	8,9	5,970	9,0	3,337	4,0

Hora	Dia 11		Dia 12		Dia 13		Dia 14		Dia 15	
	Media	Máximo								
0:00:00	5,338	7,6	3,718	6,0	3,003	4,5	4,512	7,8	5,008	7,7
1:00:00	4,278	7,7	3,307	4,9	3,003	4,6	4,328	8,3	5,297	8,6
2:00:00	4,533	8,0	3,850	5,6	2,760	4,5	3,928	6,0	6,437	9,7
3:00:00	4,427	7,9	4,655	7,7	2,928	5,1	4,437	6,9	6,297	9,7
4:00:00	4,540	7,1	3,548	6,2	2,997	4,8	4,413	7,5	5,852	11,1
5:00:00	4,780	7,7	3,745	5,3	3,050	4,7	3,577	6,0	6,713	10,8
6:00:00	5,272	9,0	3,123	5,1	3,437	5,7	3,973	6,6	6,235	10,7
7:00:00	5,617	8,8	2,862	4,5	3,887	6,0	3,487	6,3	5,342	8,7
8:00:00	5,453	8,1	2,722	3,9	3,125	5,0	3,163	5,1	4,275	6,9
9:00:00	5,252	8,0	2,712	5,1	2,800	4,3	3,148	5,0	3,422	5,0
10:00:00	6,280	9,9	2,820	4,4	3,387	5,4	3,312	5,6	3,792	6,2
11:00:00	6,822	9,9	3,452	6,5	4,358	7,9	4,198	6,9	4,825	8,4
12:00:00	7,597	11,7	4,315	6,8	5,165	8,0	5,065	8,6	5,098	8,5
13:00:00	6,010	12,2	4,047	7,4	5,377	8,4	5,005	7,7	5,042	8,0
14:00:00	3,382	6,0	5,007	8,1	4,860	7,9	5,527	10,0	5,268	8,4
15:00:00	3,460	5,0	3,133	5,7	2,785	4,6	3,758	5,3	3,440	5,2
16:00:00	4,502	7,2	3,508	5,6	3,260	5,7	3,448	6,0	3,185	4,9
17:00:00	4,172	6,2	3,575	6,9	3,603	5,6	3,558	5,9	3,800	5,2
18:00:00	3,750	5,4	2,913	5,3	2,998	5,5	3,992	6,1	2,512	3,0
19:00:00	3,363	5,2	2,813	4,3	3,943	5,7	3,453	5,2	2,893	5,1
20:00:00	2,973	4,7	3,648	5,6	3,637	6,0	3,197	5,5	3,243	4,8
21:00:00	2,673	4,0	3,222	6,2	4,008	6,3	3,927	6,5	2,657	4,4
22:00:00	2,672	4,3	5,743	8,8	4,437	6,7	4,397	6,8	3,233	5,2
23:00:00	2,817	4,5	4,877	7,2	4,517	7,8	4,628	7,9	3,840	5,7

Hora	Dia 16		Dia 17		Dia 18		Dia 19		Dia 20	
	Media	Máximo								
0:00:00	3,530	5,1	5,118	7,6	3,912	5,1	4,398	5,9	3,608	5,5
1:00:00	4,238	6,8	4,777	6,5	3,645	4,6	4,240	5,9	4,008	5,5
2:00:00	4,288	6,1	5,008	7,2	3,530	4,9	4,257	6,2	4,337	5,7
3:00:00	4,060	5,3	5,457	7,0	3,530	4,7	4,162	5,5	4,033	5,3
4:00:00	3,272	4,8	4,475	6,7	3,380	4,6	4,390	5,6	4,152	5,5
5:00:00	4,117	6,0	4,415	5,4	3,558	4,6	4,380	6,2	3,820	5,6
6:00:00	3,993	6,5	4,710	6,5	3,457	4,2	4,483	6,6	3,620	4,7
7:00:00	3,587	5,6	5,298	8,8	3,895	5,0	4,470	5,6	3,550	5,0
8:00:00	3,805	6,1	5,075	7,7	4,268	5,3	4,080	5,4	3,820	5,3
9:00:00	4,010	5,5	5,485	7,6	3,883	5,6	4,080	5,1	3,585	5,4
10:00:00	4,965	9,0	6,013	9,8	3,797	5,1	3,893	5,1	3,715	5,3
11:00:00	3,992	7,5	6,092	8,6	4,672	8,2	4,393	7,3	4,710	7,3
12:00:00	5,052	8,7	6,808	10,6	5,338	8,2	6,122	8,5	5,563	7,9
13:00:00	5,682	8,5	6,795	10,3	5,205	7,7	5,453	7,9	5,330	8,1
14:00:00	5,515	7,9	7,007	10,2	5,153	7,7	5,573	8,4	4,962	8,2
15:00:00	3,865	6,3	5,168	7,8	3,737	4,8	3,988	5,4	3,867	5,6
16:00:00	4,123	6,3	5,103	6,5	3,548	4,6	3,717	4,7	2,915	4,8
17:00:00	4,892	8,4	5,595	7,6	3,310	4,4	3,865	5,1	3,532	5,3
18:00:00	4,427	5,9	6,453	10,5	3,643	4,7	4,340	5,5	2,942	4,3
19:00:00	4,875	6,8	6,422	10,3	3,807	4,9	4,542	5,6	3,170	5,1
20:00:00	4,398	6,0	5,058	7,7	3,660	4,6	4,343	5,9	3,317	4,9
21:00:00	4,313	6,4	5,052	7,6	3,630	4,7	4,257	5,5	3,495	5,1
22:00:00	4,820	6,6	6,688	10,6	4,243	6,2	4,910	6,9	4,362	6,3
23:00:00	4,903	6,5	5,773	9,6	4,392	6,0	4,530	6,3	3,920	5,8

Hora	Dia 21		Dia 22		Dia 23		Dia 24		Dia 25	
	Media	Máximo								
0:00:00	5,357	7,5	4,882	6,9	4,943	7,6	5,570	7,8	6,987	9,7
1:00:00	4,835	6,9	4,807	6,8	4,945	6,6	5,562	8,4	6,927	9,9
2:00:00	5,047	7,2	4,548	6,6	4,830	7,1	5,448	7,1	6,832	9,6
3:00:00	4,613	8,9	3,772	5,3	4,047	5,5	4,512	5,5	5,527	7,0
4:00:00	4,700	5,9	3,470	5,0	4,202	5,6	4,573	5,8	5,748	7,7
5:00:00	4,585	6,1	4,495	5,8	4,545	7,0	4,817	6,1	5,470	7,6
6:00:00	5,023	6,7	4,683	6,1	4,857	6,6	4,820	6,4	5,000	7,3
7:00:00	5,458	7,0	4,798	6,8	5,148	6,8	5,065	6,6	5,440	7,6
8:00:00	5,560	7,0	5,010	7,2	5,852	7,4	5,763	7,6	4,473	6,9
9:00:00	5,087	6,9	4,388	6,0	4,883	6,4	4,890	6,4	5,365	8,5
10:00:00	4,395	5,8	4,027	5,6	4,638	6,5	4,597	6,3	5,297	7,1
11:00:00	4,943	8,5	4,770	8,4	4,970	8,1	5,213	7,7	5,210	8,5
12:00:00	6,243	9,3	5,383	8,0	5,788	8,9	5,655	8,6	6,525	9,3
13:00:00	5,508	8,2	5,955	8,8	5,575	7,7	5,705	8,4	5,448	9,6
14:00:00	6,485	9,3	5,745	8,4	5,083	8,8	5,412	8,8	4,433	7,6
15:00:00	5,682	7,5	4,370	6,3	4,013	6,0	3,953	6,0	4,295	7,1
16:00:00	4,652	6,2	4,152	5,6	4,462	6,1	4,525	5,9	4,567	6,7
17:00:00	4,717	6,8	5,360	7,6	6,355	8,9	6,402	8,2	5,543	6,8
18:00:00	4,302	6,4	5,247	7,5	5,872	8,2	5,885	8,1	5,250	7,0
19:00:00	3,348	4,9	4,173	6,3	4,383	6,7	4,398	5,8	4,838	6,4
20:00:00	3,603	5,3	4,155	4,9	4,215	6,1	4,280	5,9	4,817	6,6
21:00:00	3,540	5,3	3,735	5,0	5,082	6,6	5,083	6,5	4,002	6,0
22:00:00	4,405	6,3	4,382	6,5	4,845	7,3	4,758	7,5	4,633	6,4
23:00:00	4,540	7,2	5,077	7,4	5,385	8,6	5,127	8,6	5,233	8,3

Hora	Dia 26		Dia 27		Dia 28		Dia 29		Dia 30	
	Media	Máximo								
0:00:00	5,990	7,8	5,758	7,3	6,708	8,4	8,023	10,7	7,243	12,0
1:00:00	6,347	8,0	5,977	7,9	6,738	8,3	6,320	9,2	6,950	11,6
2:00:00	5,978	7,9	5,972	8,0	6,927	8,8	6,615	8,9	8,035	11,1
3:00:00	5,237	6,4	5,302	6,5	5,905	7,9	5,822	8,4	5,922	8,6
4:00:00	4,965	6,2	5,167	6,3	5,862	6,9	5,215	7,1	5,080	7,9
5:00:00	5,295	6,5	5,695	7,1	6,910	10,1	5,773	7,1	6,567	9,8
6:00:00	5,325	6,6	5,677	7,0	6,128	8,6	5,468	7,5	6,092	8,5
7:00:00	5,482	7,1	5,785	7,4	5,883	7,3	6,428	9,0	5,473	7,6
8:00:00	5,567	7,5	5,947	7,5	5,905	7,2	6,352	9,3	6,303	9,2
9:00:00	6,215	9,3	5,312	7,1	5,423	6,8	5,812	7,1	5,140	7,5
10:00:00	5,152	8,7	5,568	7,1	5,557	8,1	5,877	8,1	6,333	9,1
11:00:00	5,422	8,5	5,883	9,2	5,735	8,6	6,883	9,0	6,212	9,3
12:00:00	6,672	9,0	6,793	9,7	6,758	9,3	6,805	9,0	6,937	10,6
13:00:00	6,928	9,8	6,560	8,8	6,648	8,8	6,747	9,6	7,193	10,4
14:00:00	6,872	9,4	6,903	8,9	7,102	10,2	6,692	9,1	8,270	11,7
15:00:00	5,543	7,3	5,485	7,1	5,437	7,2	5,182	6,9	5,773	9,6
16:00:00	5,422	7,8	5,425	7,2	5,338	7,7	5,248	6,7	7,598	11,3
17:00:00	6,402	8,1	6,502	8,6	6,363	8,4	6,098	7,4	7,702	11,4
18:00:00	6,433	8,1	6,467	7,9	6,448	7,9	6,443	7,8	7,923	10,6
19:00:00	5,073	6,1	5,187	6,7	5,118	6,0	5,145	6,5	7,858	11,6
20:00:00	5,057	6,2	5,002	5,8	5,005	6,2	5,085	6,2	6,687	10,2
21:00:00	5,020	6,0	4,927	6,0	5,028	5,8	5,003	6,1	6,278	9,7
22:00:00	5,453	6,8	5,458	6,7	5,317	6,6	5,463	6,9	7,920	12,8
23:00:00	6,347	9,0	6,340	8,8	6,348	9,1	6,525	8,3	7,127	11,4

A - 2. Velocidad promedio y máxima del viento por hora durante la Etapa Mes 2 (21 de agosto hasta 19 de septiembre del 2021).

Hora	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5	
	Media	Máximo								
0:00:00	5,480	8,5	5,473	7,6	6,277	8,8	6,062	8,1	6,865	10,3
1:00:00	5,620	9,9	4,988	7,5	6,715	10,9	6,798	8,6	6,532	8,9
2:00:00	4,903	7,4	5,003	7,3	7,557	10,5	6,285	9,1	6,273	8,8
3:00:00	4,478	6,5	4,232	6,1	6,135	8,6	5,153	6,8	5,082	6,5
4:00:00	4,412	7,4	4,170	6,7	5,847	7,8	5,203	7,1	6,260	8,4
5:00:00	4,132	5,9	4,580	6,9	5,830	7,4	5,813	7,9	6,235	8,4
6:00:00	4,830	6,8	4,688	6,8	5,657	8,0	6,587	8,9	6,310	8,5
7:00:00	4,680	5,7	4,842	7,1	6,198	7,8	5,433	6,9	6,572	8,7
8:00:00	4,873	6,5	4,977	7,5	5,613	7,8	5,623	8,2	6,237	8,1
9:00:00	4,565	6,1	5,630	7,9	5,465	7,7	6,050	7,8	6,340	7,9
10:00:00	4,435	5,6	5,807	8,9	5,468	7,4	5,063	7,3	6,107	7,5
11:00:00	5,255	8,9	7,370	11,7	6,402	9,9	5,398	8,5	6,470	8,8
12:00:00	6,332	9,4	6,960	10,4	7,188	9,7	6,380	9,9	7,298	10,3
13:00:00	6,450	9,6	8,130	12,4	6,318	9,0	7,005	9,4	7,793	10,4
14:00:00	7,027	10,5	8,428	12,8	6,042	8,4	7,032	10,5	7,843	10,0
15:00:00	5,818	10,2	5,655	9,1	5,278	6,9	4,912	6,6	5,943	7,5
16:00:00	7,582	10,8	4,880	7,7	5,570	7,0	4,638	6,6	5,582	6,9
17:00:00	7,812	11,4	5,577	7,0	7,028	8,9	6,283	8,0	6,948	8,6
18:00:00	7,950	10,8	5,855	7,3	6,407	8,9	6,128	7,7	7,328	9,0
19:00:00	7,817	11,8	4,643	6,0	5,153	7,1	5,033	6,2	6,042	7,7
20:00:00	6,662	9,6	4,478	6,3	5,408	6,8	5,400	7,3	5,700	7,1
21:00:00	6,298	9,5	4,173	5,7	5,018	7,3	5,377	7,0	5,142	6,4
22:00:00	7,767	12,4	4,693	6,1	5,657	7,7	6,127	8,3	5,942	7,7
23:00:00	6,655	10,7	5,107	7,6	5,840	9,0	6,140	9,3	6,090	9,3

Hora	Dia 6		Dia 7		Dia 8		Dia 9		Dia 10	
	Media	Máximo								
0:00:00	6,708	8,9	6,830	8,7	5,570	8,2	5,740	8,0	7,623	10,7
1:00:00	6,275	9,0	6,993	8,7	5,470	7,2	5,995	7,9	7,222	9,4
2:00:00	6,748	10,4	6,707	8,7	5,145	7,3	5,750	7,8	6,378	10,0
3:00:00	6,165	7,8	6,070	8,1	4,233	5,8	4,882	6,5	5,785	8,5
4:00:00	6,515	8,1	5,928	7,0	4,017	5,3	4,760	6,7	5,937	8,5
5:00:00	6,425	8,1	6,368	8,0	4,522	6,0	5,725	7,7	6,277	7,7
6:00:00	4,988	7,1	6,280	7,5	4,352	5,5	5,308	7,3	6,047	7,8
7:00:00	5,390	7,2	6,352	7,4	4,422	5,4	6,042	7,3	6,480	9,2
8:00:00	4,477	6,1	6,652	8,4	4,388	5,9	5,368	7,2	5,938	7,5
9:00:00	4,232	5,4	6,013	7,4	4,318	5,5	5,023	6,7	5,938	8,4
10:00:00	4,122	5,8	6,213	8,4	4,460	5,6	5,455	6,7	5,928	9,1
11:00:00	4,805	7,7	6,818	10,4	5,172	8,0	5,520	10,1	6,655	10,0
12:00:00	5,228	7,6	7,958	10,6	5,652	8,5	6,642	9,7	7,840	10,9
13:00:00	5,640	8,1	7,763	10,2	5,762	8,6	6,412	9,6	7,995	11,1
14:00:00	5,333	7,8	7,432	10,1	6,077	8,3	6,528	9,6	7,550	11,2
15:00:00	3,575	4,4	6,587	8,0	5,760	8,2	4,803	6,4	6,913	10,7
16:00:00	4,077	5,8	5,975	7,5	6,037	7,4	5,320	7,5	6,927	10,6
17:00:00	5,875	7,6	7,332	8,7	7,282	9,1	6,640	8,4	7,908	12,1
18:00:00	6,888	9,8	7,335	9,0	7,343	8,8	6,528	9,5	8,087	11,9
19:00:00	7,010	8,8	6,337	7,6	6,338	7,6	5,437	7,6	6,008	8,0
20:00:00	6,050	8,7	5,998	7,1	6,077	7,3	5,608	7,5	6,717	9,4
21:00:00	4,962	7,3	5,870	7,0	5,872	7,1	5,012	8,4	6,663	9,3
22:00:00	4,665	6,9	6,428	8,4	6,592	8,0	6,172	9,1	6,983	10,3
23:00:00	5,268	8,3	6,637	8,5	6,648	8,2	6,358	9,2	8,214	11,4
Hora	Dia 11		Dia 12		Dia 13		Dia 14		Dia 15	
	Media	Máximo								
0:00:00	4,582	6,1	6,568	8,7	5,865	8,2	5,165	7,4	5,567	7,9
1:00:00	4,728	6,4	6,727	9,3	6,193	7,8	5,407	7,4	5,382	7,9
2:00:00	4,863	7,0	6,887	9,7	7,192	10,8	5,485	8,0	5,552	7,1
3:00:00	4,193	5,4	6,580	10,5	6,312	8,5	4,400	5,6	5,007	8,2
4:00:00	4,458	5,9	6,173	8,1	6,330	8,1	5,060	6,7	5,190	7,0
5:00:00	4,660	5,7	7,207	11,9	5,743	7,6	5,225	6,8	5,453	7,8
6:00:00	5,007	6,7	6,565	8,7	5,562	8,0	5,217	7,3	5,310	8,1
7:00:00	5,388	7,0	6,252	8,8	6,420	8,5	5,380	7,3	4,842	6,7
8:00:00	5,923	7,4	6,657	11,1	4,868	7,3	5,420	7,9	4,790	7,0
9:00:00	5,105	6,9	6,577	9,7	4,723	6,8	5,275	6,7	4,433	6,9
10:00:00	5,265	7,4	6,740	9,5	4,715	7,0	4,597	6,0	4,407	6,2
11:00:00	5,248	7,4	7,043	10,3	5,787	8,2	5,825	8,6	5,053	8,7
12:00:00	6,352	8,8	7,115	9,9	5,767	8,2	6,228	9,3	5,942	8,9
13:00:00	6,533	8,9	7,467	11,2	6,660	9,6	6,625	9,5	5,817	9,6
14:00:00	7,215	9,7	7,543	11,8	6,037	9,3	7,425	9,9	5,705	9,2
15:00:00	5,287	6,6	6,382	8,9	4,897	6,2	4,747	5,9	4,315	6,0
16:00:00	5,485	7,5	6,272	9,3	5,415	8,1	5,000	6,9	4,660	6,3
17:00:00	7,587	9,8	7,057	8,9	7,168	10,2	5,860	9,2	5,188	7,0
18:00:00	7,083	9,0	7,215	8,7	7,775	10,7	5,943	8,1	5,070	6,2
19:00:00	6,458	8,5	6,575	8,6	6,187	8,6	4,648	6,5	4,102	5,1
20:00:00	6,575	7,9	6,628	9,4	6,762	9,6	5,022	7,2	3,957	4,7
21:00:00	5,118	7,3	5,840	8,7	6,397	9,8	4,665	7,5	3,693	4,7
22:00:00	4,897	6,7	7,107	10,3	6,625	10,6	5,222	7,6	4,970	6,8
23:00:00	5,512	8,6	7,453	10,6	7,250	10,6	5,823	8,0	5,338	7,2

Hora	Dia 16		Dia 17		Dia 18		Dia 19		Dia 20	
	Media	Máximo								
0:00:00	6,678	10,4	6,862	10,4	5,295	7,7	5,527	7,2	6,967	10,6
1:00:00	7,097	10,5	7,210	9,9	6,188	9,8	5,707	7,5	6,962	9,4
2:00:00	7,040	9,5	7,233	10,8	5,500	7,2	5,855	7,7	6,905	9,9
3:00:00	6,480	9,3	6,168	8,4	4,513	6,1	4,652	5,8	6,377	9,0
4:00:00	5,520	7,1	5,728	7,1	4,420	5,8	5,085	6,3	5,475	6,6
5:00:00	6,037	7,1	5,980	7,2	4,762	6,2	5,232	6,3	5,657	6,6
6:00:00	5,835	7,1	6,142	7,7	4,562	6,1	5,010	6,4	5,918	8,4
7:00:00	6,203	7,6	5,925	7,4	5,310	6,7	5,015	6,1	7,168	11,6
8:00:00	5,582	7,0	6,062	7,5	5,755	8,8	4,925	6,0	6,765	10,0
9:00:00	5,495	6,8	5,642	6,7	5,585	7,8	4,498	5,6	6,270	9,5
10:00:00	5,603	6,7	5,287	6,5	5,037	6,7	4,567	5,5	6,200	8,0
11:00:00	5,845	9,1	6,085	9,3	5,928	9,0	4,837	7,7	6,253	9,7
12:00:00	6,460	8,8	7,108	9,0	6,508	9,3	6,267	9,0	7,055	10,3
13:00:00	6,463	8,8	7,112	9,7	6,015	9,7	6,230	9,0	6,853	9,9
14:00:00	6,968	9,5	7,280	10,0	6,268	9,4	6,337	8,8	7,473	10,3
15:00:00	5,540	6,5	5,947	7,4	4,325	6,2	5,337	6,6	5,787	7,6
16:00:00	5,803	6,8	5,822	7,0	4,275	6,0	4,790	5,9	5,297	6,2
17:00:00	7,268	9,0	6,592	8,6	6,422	9,1	6,497	7,7	6,925	8,5
18:00:00	7,390	11,0	6,940	8,2	6,663	9,3	5,845	7,4	6,450	7,4
19:00:00	5,892	10,6	5,497	6,4	6,225	8,6	5,605	7,2	5,390	6,2
20:00:00	6,512	10,2	5,598	6,9	5,698	8,4	5,222	7,1	5,675	6,7
21:00:00	5,212	8,4	5,333	6,7	4,785	6,5	5,222	7,3	5,375	6,6
22:00:00	6,007	8,6	5,692	7,0	5,358	8,1	5,690	8,0	6,130	7,8
23:00:00	6,567	10,5	6,738	8,9	5,953	9,7	6,990	9,8	6,492	8,8
Hora	Dia 21		Dia 22		Dia 23		Dia 24		Dia 25	
	Media	Máximo								
0:00:00	6,365	8,4	6,472	9,9	5,498	7,2	6,580	10,9	5,230	7,7
1:00:00	5,703	8,4	6,678	8,8	5,602	7,4	5,670	8,6	5,800	8,2
2:00:00	6,423	8,6	7,248	9,9	5,635	7,4	5,987	9,5	5,417	8,0
3:00:00	5,192	6,6	6,822	9,3	5,027	6,8	5,005	8,5	4,152	6,2
4:00:00	5,128	6,1	5,670	7,5	5,417	6,6	4,870	6,9	4,660	6,4
5:00:00	4,893	5,9	5,752	8,6	5,005	6,6	4,703	6,5	5,380	7,4
6:00:00	5,247	7,2	6,327	8,7	5,833	7,5	4,862	6,6	5,322	7,5
7:00:00	5,932	7,5	5,522	6,9	6,918	9,9	4,872	6,6	5,365	8,4
8:00:00	5,493	6,9	5,242	6,6	5,647	9,4	5,102	6,7	5,005	8,4
9:00:00	5,463	6,6	4,862	6,3	5,817	7,2	4,403	6,4	4,643	7,5
10:00:00	5,517	6,8	4,938	6,2	4,900	6,4	3,083	5,2	5,002	6,9
11:00:00	6,293	9,6	5,357	8,5	5,858	9,6	5,198	9,0	5,463	8,7
12:00:00	6,527	8,8	6,182	9,0	6,840	9,1	5,592	8,5	6,022	8,2
13:00:00	7,182	10,2	6,528	9,2	6,932	9,4	6,208	11,2	6,417	8,9
14:00:00	6,543	8,8	6,587	9,5	6,933	9,5	7,638	11,0	5,487	8,5
15:00:00	4,942	6,2	5,242	8,0	5,160	7,4	5,522	8,1	4,617	6,6
16:00:00	5,378	8,6	4,868	6,0	4,625	6,1	4,867	7,4	4,855	6,6
17:00:00	7,122	9,6	6,070	7,8	6,282	8,1	6,572	8,8	6,025	7,5
18:00:00	6,048	7,2	6,053	7,9	7,288	9,1	5,880	8,1	6,022	7,6
19:00:00	5,332	7,1	5,505	6,5	5,600	6,9	4,413	6,7	3,848	6,7
20:00:00	4,978	6,5	5,633	7,1	5,165	6,8	4,572	6,5	3,692	5,7
21:00:00	5,162	7,5	5,135	6,2	5,593	6,9	4,782	6,9	2,767	4,6
22:00:00	5,602	7,4	5,537	7,3	5,723	7,5	5,698	8,2	3,305	5,3
23:00:00	6,617	8,5	6,643	8,6	6,053	8,4	5,582	8,2	3,903	5,9

Hora	Dia 26		Dia 27		Dia 28		Dia 29		Dia 30	
	Media	Máximo								
0:00:00	6,420	8,4	5,452	7,7	5,875	8,5	5,382	8,3	7,237	12,0
1:00:00	6,142	8,4	5,872	8,6	6,902	9,9	5,875	7,6	7,275	11,0
2:00:00	6,113	9,1	7,110	11,4	6,682	10,4	5,530	7,9	6,203	8,9
3:00:00	5,252	7,6	6,605	9,8	6,323	8,1	5,010	7,4	6,768	11,0
4:00:00	4,610	6,8	5,578	7,9	6,270	9,1	4,450	7,0	6,238	9,7
5:00:00	4,905	6,6	6,648	9,0	6,150	9,5	5,437	8,2	6,798	11,4
6:00:00	5,135	7,1	6,150	8,1	5,453	7,4	5,922	9,9	6,527	10,2
7:00:00	5,105	7,0	6,313	8,3	5,973	8,2	5,012	8,4	6,843	10,9
8:00:00	5,035	7,4	6,340	9,0	6,195	9,3	5,638	8,4	7,587	10,5
9:00:00	4,540	6,1	6,210	8,8	5,832	8,2	5,483	8,3	5,423	8,7
10:00:00	4,577	7,0	6,667	9,0	6,227	8,9	7,102	11,0	6,727	11,0
11:00:00	6,098	9,8	7,333	11,7	6,463	10,9	7,602	12,6	7,350	11,8
12:00:00	7,162	11,2	7,592	12,2	7,147	10,6	8,478	12,4	7,410	10,9
13:00:00	6,327	10,0	7,267	10,8	6,418	9,0	6,843	9,7	7,137	10,7
14:00:00	6,937	9,9	6,802	11,1	6,907	10,7	7,012	11,1	7,003	10,5
15:00:00	5,192	7,4	5,838	8,4	5,613	9,5	4,945	7,4	5,243	7,2
16:00:00	5,272	8,0	5,808	9,9	5,780	8,3	5,988	9,4	5,920	8,8
17:00:00	6,455	8,6	6,527	10,1	6,452	8,3	7,333	10,4	6,667	10,1
18:00:00	5,775	7,9	6,320	9,9	6,783	9,6	7,690	10,9	5,772	7,6
19:00:00	5,495	7,9	5,778	8,8	6,387	8,6	7,190	9,6	5,113	7,1
20:00:00	4,305	5,8	5,620	7,2	4,838	6,4	7,027	9,7	5,658	8,3
21:00:00	4,960	7,2	5,503	7,3	4,510	5,6	6,147	10,1	5,165	7,2
22:00:00	5,577	7,6	5,500	8,0	4,847	6,3	6,742	9,4	6,718	9,7
23:00:00	5,168	8,3	6,962	10,2	5,308	8,7	5,930	10,2	7,602	11,1

B. Anexo: Resumen de las velocidades del viento

B - 1. Especificaciones técnicas del microaerogenerador HF4.0-2000W.



型号 model	HF4.0-2000W
功率(Power)	2000W
风轮直径(Blades diameter)	4.0m
额定转速(rated rotor speed)	300r/min
额定风速(rated speed)	8m/s
额定功率(rated Power)	2000W
最大功率(max Power)	3000W
输出电压(output voltage)	96V
启动风速(start up wind speed)	3(m/s)
工作风速(work speed)	3-25(m/s)
安全风速(security wind speed)	50(m/s)
塔架高(height of tower)	6米(m)
顶部质量(top weight except tower)	100kg
塔架类型(tower type)	89钢管(ø89mm steel tube)
输出控制系统(output controller system)	充电控制器, 逆变器 Controller, Inverter
建议配套蓄电池容量 (Suggested batteries and its capacity)	12伏 100安时 8块 (12V 100AH 8PCS)
可带负载(can supply power for)	冰箱、洗衣机、水泵、彩电、照明、电风扇、充电 Refrigerator, Washing Machine, Water Pump, TV, Lighting, Electric fan, charge

B - 2. Cotización del microaerogenerador HF4.0-2000W.



Horizontal 1KW & 2KW Wind Turbine System

Model	Spare Parts Price				FOB QINGDAO
	generator	blades	off grid controller	off-grid inverter	Total price
HF3.2-1KW	US\$635	US\$90	US\$270		US\$995
HF4.0- 2KW	US\$810	US\$148	US\$241	US\$317	US\$1,516
					US\$2,511

B - 3. Cotización del microaerogenerador Aeolos-H 2kW off grid.



Aeolos-H 2kW (Grid-off)	Unit Price
2kW Wind Turbine	USD 1850
Grid-off controller (MPPT 48V/96V)	USD 850
Grid off inverter	USD 580
Total	USD 3280

Aeolos-H 2kW (Grid-on)	Unit Price
2kW Wind Turbine	USD 1850
Grid-on controller	USD 630
Grid-on inverter (MPPT)	USD 1250
Total	USD 3730

Optional Towers for Aeolos-H 2kW Wind Turbine	
6m monopole tower	USD 720
9m monopole tower	USD 1050
12m monopole tower	USD 1290
12m hydraulic tower	USD 3580
15m monopole tower	USD 2420
15m hydraulic tower	USD 5280
3m roof top tower	USD 470

1) Price:

The price is EXW price, which includes packing, while the shipment and the installation are excluded.

2) Validity:

The quotation is valid until 31/12/2021.

3) Delivery time:

Production time: Approx. 15 working days after order confirmation.

Delivery time: By shipment, depends on different port with different distance. Please kindly inform us the required nearest destination port, then we will check the freight cost.

4) Payment method:

30% deposit after order confirmation by T/T

70% balance before shipment by T/T

AEOLOS (CHN)
windturbinestar.com

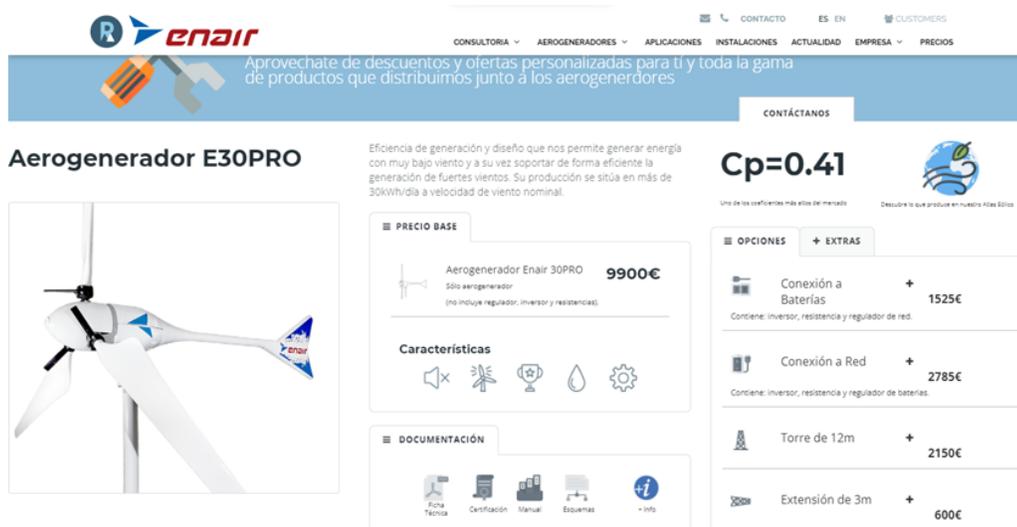
LOTUS (Qingdao) ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD.
Tel.: +86 532 8090 3375 Fax: +86 532 8090 3375
Add.: No. 16 Shandong Road, Qingdao, China

B - 4. Cotización del microaerogenerador FH 2000 kW.

Price List

Pic	Item	Spec	unit price (USD)	Quantity(set)	Amount (USD)
	wind turbine	2kw 48v 50hz	\$2180	1	\$2180

B - 5. Cotización del microaerogenerador Enair 30 Pro.



Aerogenerador E30PRO

Eficiencia de generación y diseño que nos permite generar energía con muy bajo viento y a su vez soportar de forma eficiente la generación de fuertes vientos. Su producción se sitúa en más de 30kWh/día a velocidad de viento nominal.

Cp=0.41

Uno de los coeficientes más altos del mercado Descubre lo que producir en nuestro kit E30

PRECIO BASE

Aerogenerador Enair 30PRO **9900€**
Sólo aerogenerador (no incluye regulador, inversor y resistencias)

Características

DOCUMENTACIÓN

Hoja Técnica Certificación Manual Esquemas - Info

OPCIONES + EXTRAS

- Conexión a Baterías + 1525€
Contiene: Inversor, resistencia y regulador de red.
- Conexión a Red + 2785€
Contiene: Inversor, resistencia y regulador de baterías.
- Torre de 12m + 2150€
- Extensión de 3m + 600€

B - 6. Cotización del microaerogenerador 1 kW Bergey.



WATT-U-NEED.com

Buscar aquí...

¿Necesita ayuda? Inicia sesión Carro

TODAS LAS CATEGORIAS Paneles solares Kits solares Inversores Baterías solares Regulador de carga Fijaciones

> Eolienne > Aerogenerador Bergey Excel 1kW (carga de batería) - 24V / 48V DC

Aerogenerador Bergey Excel 1kW (carga de batería) - 24V / 48V DC
Bergey WindPower

9 599,00 € impuestos incl.

Qt: - 1 +

Opciones

Modelo de aerogenerador Bergey de Excel 1 - 24V DC

Excel :

B - 7. Cotizaciones del inversor, cableado, breaker, controlador de carga y batería.

Nombre del producto	Precio	Cantidad	Subtotal
 Inversor Cargador Bifásico 4000W 48V MPPT 80A Must Solar	\$ 2.820.000	- 1 +	\$ 2.820.000
 Cable Manguera 4 x 6mm RZ1- K5203003	\$ 19.040	- 30 +	\$ 571.200
 Breaker 1 Polo 20A UL NB1	\$ 15.470	- 2 +	\$ 30.940
 Controlador Carga MPPT 80A 12/24V/48V MUST	\$ 990.000	- 1 +	\$ 990.000
 Batería AGM 12V 18Ah Ultracell UC-18-12	\$ 152.618	- 4 +	\$ 610.470

Total: \$ 5.022.610

Código de descuento:

B - 8. Ficha técnica controladora PC1800F.



PC1800F Series MPPT Solar

Características:

- 60A/80A MPPT Regulador de carga solar (Ventilación forzada)
- 12V/24V/48V (auto detección); 36V(configurable)
- Eficiencia MPPT >99%, pico eficiencia conversión >98%
- Arquitectura de procesadores DSP que aseguran una gran velocidad y rendimiento.
- Carga en multi-etapas
- Protección: Cortocircuito en paneles, polaridad inversa en paneles y baterías sobrecarga, cortocircuito en la salida.
- Función de equalización
- Función BTS

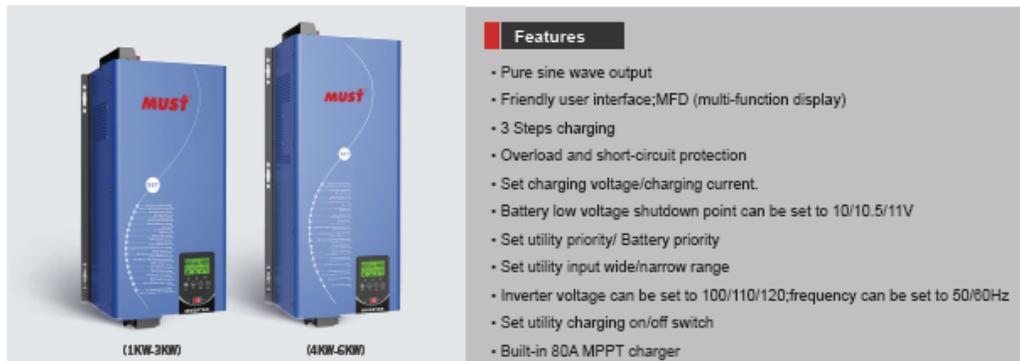
Especificaciones

MODELO		PC18-6015F		PC18-8015F	
Voltaje nominal sistema baterías		12V/24V/48VDC (Auto detección); 36V(setting)			
CONTROLADOR ENTRADA	Voltaje de baterías	12V	24V	36V	48V
	Voltaje máximo entrada solar	100V	145V		
	Rango del MPPT	15-95V	30-130V	45-130V	60-130V
	Potencia máxima entrada paneles (12V)	938W		1250W	
	Potencia máxima entrada paneles (24V)	1875W		2500W	
	Potencia máxima entrada paneles (36V)	2813W		3750W	
Potencia máxima entrada paneles (48V)	3750W		5000W		
BATERÍA	Configuraciones de carga	Estado de absorción		Estado de flotación	
	Flooded Battery	14.2V/28.4V/42.6V/56.8V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	AGM/Ge/LEAD battery (predeterm.)	14.4V/28.8V/43.2V/57.6V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	Voltaje de sobre-carga	15.5V/30.0V/45.0V/60.0V			
	Voltaje recuperación de sobre-carga	14.5V/29.5V/44.5V/59.0V			
	Voltaje bajo batería defectuosa	10.0V/17.0V/25.5V/34.0V			
Coefficiente compensación temperatura	-3mV/°C /celda (25°C vef)				
MPPT	Pico de eficiencia de conversión	98% (MPPT Eficiencia 99%)			
	Máxima corriente de carga	60 amps constantes @ 40°C ambiente		80 amps constantes @ 40°C ambiente	
ESPECIFICACIONES GENERALES	Modo de ventilación	ventilación forzada			
DISPLAY & PROTECCIÓN	Protecciones	Desconexión voltaje FV excesivo Reconexión voltaje FV excesivo Desconexión voltaje batería excesivo Reconexión voltaje batería excesivo Desconexión temperatura excesiva Reconexión temperatura excesiva			
	Montaje	En pared			
ESPECIFICACIONES FÍSICAS	Dimensiones (W*H*D)	152*100*294mm			
	Peso (Kg)	3Kg/pcs			
	Dimensiones paquete (W*H*D)	612*308.2*235.6mm			
	Peso total (Kg) (por embalaje)	17.4Kg		19Kg (per Carton)	
OTROS	Lugar de instalación	Interior			
	Rango temperatura de funcionamiento	-25-55°C			
	Humedad ambiente	0-90% humedad relativa(sin condensación)			
	Altitud	≤3000m			
	Contenedor(20GP/40GP/40HQ)	3000pcs / 6000pcs / 7200pcs			

* Product specifications are subject to change without further notice.

B - 9. Ficha técnica Inversor EP3300 TLV (1kW-6kW).

PV3300 TLV Series (1KW-6KW)



MODEL	EP33-1012 TLV	EP33-1024 TLV	EP33-1512 TLV	EP33-1524 TLV	EP33-2012 TLV	EP33-2024 TLV	EP33-3024 TLV	EP33-3048 TLV	EP33-4024 TLV	EP33-4048 TLV	EP33-5048 TLV	EP33-6048 TLV
Inverter Output	Rated power	1KW	1.5KW	2KW	3KW	4KW	5KW	6KW				
	Power factor	1										
	Wave form	Pure sine wave / Same as Input wave form (bypass mode)										
	Output voltage RMS	100V / 110V /120VAC (200V / 220V / 240VAC) ±10%										
	Output frequency	50Hz or 60Hz (±0.3Hz) (can be set)										
	Overload protection	Breraker + software protection										
	Output short circuit	Breraker + software protection										
	Inverter efficiency (peak)	>80%										
	Overload	100% < Load < 110% (alarm 5min then stop output and fault code 07) 110% < Load < 125% (alarm 60s then stop output and fault code 07) Load > 125% (alarm 10s then stop output and fault code 07)										
	Surge rating	3000VA	4500VA	6000VA	9000VA	12000VA	15000VA	18000VA				
Capable of starting electric motor	1P	1P	1.5P	1.5P	2P	3P						
Battery	Battery voltage	12VDC/24VDC			24VDC/48VDC			48VDC				
	Minimum start voltage	11VDC/22VDC/44VDC (Low voltage fault code04)										
	Low battery voltage cut off	10/10.5/11V for 12V mode (*2 for 24VDC / *4 for 48VDC)										
	Low battery voltage alarm	Add 0.5V / battery;(Low battery alarm one second one time) (10/10.5/11V)+0.5VDC for 12V mode (*2 for 24VDC / *4 for 48VDC)										
	High battery voltage alarm	Add 1V / battery;(High battery one second one time / after 30s fault 03) (13.8-14.5V)+1V for 12V mode (*2 for 24VDC / *4 for 48VDC)										
	Save mode	Loads ≤ 40W (110V) / 80W (220V)										
AC Input Mode	Input waveform	Pure sine wave										
	Nominal input voltage	220Vac / 230Vac / 240Vac										
	Max input voltage	270Vac MAX										
	Input frequency	50Hz / 60Hz (auto sensing)										
	Efficiency (AC mode)	>95% (load, full battery)										
	Transfer time AC to DC	15ms(max)										
Charge Mode	Transfer time DC to AC	15ms(max)										
	Boost voltage	14.1V(Default) Range of adjustment 13.8-14.5V / *2 for 24VDC / *4 for 48VDC (Regulation step 0.1V)										
	Float voltage	13.5V(Default) Range of adjustment 13.5-13.7V / *2 for 24VDC / *4 for 48VDC (Regulation step 0.1V)										
	12V	30A	45A	60A	\	\	\	\				
	24V	20A	25A	30A	40A	60A	\	\				
	48V	\	\	\	20A	30A	35A	40A				
Dimensions	Min charge current 10A. Change by every 5A											
	Dimensions (W*H*D)	277*196*466mm					277*186*621mm					
	Ship Dimensions (W*H*D)	376*306*592mm					376*296*747					
	Warranty	One year (standard), 2 years optional (IP20)										

B - 10. Ficha técnica batería AGM UC18-12.



UC18-12



Physical Specification

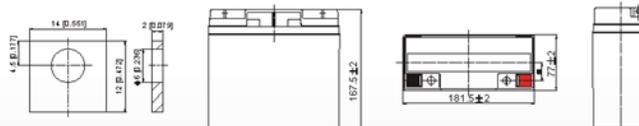
Part Number:	UC18-12
Length:	181.5 ± 2 mm (7.16 inches)
Width:	77 ± 2 mm (3.03 inches)
Container Height:	167.5 ± 2 mm (6.59 inches)
Total Height (with terminal):	167.5 ± 2 mm (6.59 inches)
Approx Weight:	Approx 6.05kg (13.34lbs)

Specifications

	Normal Voltage	12V
	Normal Capacity (20HR)	18.0AH
Terminal Type	Standard Terminal	F3
	Optional Terminal	
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	ABS(UL94:VO)
Rated Capacity	19.3 AH/0.965A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	18.0 AH/1.80A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	15.8 AH/3.16A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	14.3 AH/4.77A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	11.6 AH/11.6A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	270A (5s)	
Internal Resistance	Approx 15.0mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
		Storage: -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 5.4A. Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
	Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%	
	25°C (77°F) 100%	
	0°C (32°F) 86%	
Design Floating Life at 20°C	12 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions

F3 Terminal



ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE

1 Ultracell (UK) Ltd | Vesty Business Park | Vesty Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk



B - 11. Ficha técnica Tubo Conduit 1/2"x 3 m.

16/10/21 16:42 Tubo Conduit 1/2-pulg x 3m - Homecenter.com.co

🔍 0 🛒 👤

Home > Construcción y Terrestre > Electricidad > Tableros Eléctricos EMT y PVC > PVC, Tubos y Accesorios > Tubo Conduit: 1/2-pulg x 3m



Tigre
Tubo Conduit 1/2-pulg x 3m Código 231381

★★★★★ 0.0 (0)

\$5.100 UND

Satisfacción Garantizada [ver más](#)

Puedes devolver este producto en un plazo máximo de 30 días, éste debe estar en perfecto estado, sin uso, tener todos sus accesorios, manuales y empaque original. Si tienes dudas, comunícalas a nuestra línea de atención al cliente desde Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33.

Opciones de entrega para --

- No disponible**
Despacho a domicilio [otras ciudades](#)
- Despacho express** [Ver condiciones](#)
- Disponible**
Retiro en tienda [ver tiendas](#)

- 1 + [Agregar al carrito](#)

https://www.homecenter.com.co/zh/center/cons-vdca321381/tubo-conduit-1-2-pulg-x-3m?query=231381&id=69&idc=49&id=3730290&id=69

Tipo	Tubo Conduit PVC
Características	Producto diseñado para las instalaciones eléctricas, embebidas en concreto, mampostería y/o cielo rasos.
Material	PVC
Alto	12,6 mm
Uso	Garantizar la conducción y protección de cableado eléctrico y telefónico a nivel domiciliario.
Largo	3 metros
Funciones	Garantizar la conducción y protección de cableado eléctrico y telefónico a nivel domiciliario.
Color	Verde

B - 12. Ficha técnica breaker NB1, P1.

	Standard		IEC/EN 60898-1	IEC/EN 60947-2	UL1077	UL1077	
Electrical features	Rated current In	A	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63		1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63		
	Poles		1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N, 4P	1P, 2P, 3P, 4P	1P, 2P, 3P, 4P	1P, 2P	
	Rated voltage Ue	V	230/400~240/415		277/480	110/125	
	Insulation voltage Ui	V	500				
	Rated frequency		50/60Hz			DC	
	Rated breaking capacity	A	6000/10000	6k	5k	10k	
	Energy limiting class		3				
	Rated impulse withstand voltage(1.2/50) Uimp	V	4000				
	Dielectric test voltage at ind. Freq. for 1 min	kV	2				
	Pollution degree		2				
	Power loss per pole			Rated current (A)		Max power loss per pole (W)	
				1, 2, 3, 4, 5, 6, 10		2	
				13, 16, 20, 25, 32		3.5	
				40, 50, 63		5	
Thermo-magnetic release characteristic		B, C, D	8-12In, 9.6-14.4In		B, C, D	4-7In, 7-14In	
Mechanical features	Electrical life		4, 000				
	Mechanical life		20, 000				
	Contact position indicator		Yes				
	Protection degree		IP20				
	Reference temperature for setting of thermal element	°C	30				
	Ambient temperature (with daily average ≤35°C)	°C	-5...+40(Special application please refer to P14 for temperature compensation correction)				
Storage temperature	°C	-25...+70					
Installation	Terminal connection type		Cable/U-type busbar/Pin-type busbar				
	Terminal size top/bottom for cable	mm ²	25				
		AWG	18-4				
	Terminal size top/bottom for busbar	mm ²	10				
		AWG	18-8				
	Tightening torque	N*m	2.5				
		In-lbs.	22				
Mounting		On DIN rail EN 60715 (35mm) by means of fast clip device					
Connection		From top and bottom					
Combination with accessories	Auxiliary contact		Yes				
	Shunt release		Yes				
	Under voltage release		Yes				
	Alarm contact		Yes				

B - 13. Cotización de la construcción e instalación de la estructura.

Cotización

FACTURAR A	Nombre Nombre de la empresa Dirección Ciudad, código postal Teléfono	Juan Ortiz Taller don lucho Acevedo (321) 392-7600	FECHA: 12/09/2121 Valido hasta: 31/09/2121	
------------	--	---	---	--

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	VALOR
Angulo 6m x 1-1/2 x 1/4 pulg	6	\$ 115.000,00	\$ 690.000,00
Angulo 6m x 1 x 3/16 pulg	16	\$ 56.000,00	\$ 896.000,00
Soldadura 1kg	20	\$ 5.000,00	\$ 100.000,00
Mano de obra	1	\$ 380.000,00	\$ 380.000,00
Transporte	1	\$ 66.000,00	\$ 66.000,00
Instalacion torre y aerogenerador	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
Accesorios varios	1	\$ 80.000,00	\$ 80.000,00
Pintura anticorrosiva	2	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
Disco de corte 7"	5	\$ 9.000,00	\$ 45.000,00
Disco de corte 14"	2	\$ 19.000,00	\$ 38.000,00
Gasolina	1	\$ 9.350,00	\$ 9.350,00
Cable Galvanizado 1/4 50 metros	1	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00
Thinner	2	\$ 24.000,00	\$ 48.000,00
TOTAL IVA INCLUIDO		\$	2.822.350,00

Los cheques se extenderán a . Gracias por su confianza.

B - 14. Cotización de la construcción del emplazamiento (cimientos).

COTIZACION

Oficial de Obra

Cristian delgado

3143195076

Cliente

Nombre Juan Ortiz

Nombre de la empresa Taller don lucho

Dirección Acevedo

Ciudad, provincia y código postal

Teléfono (321) 392-7600

CONDICIONES

Cimentacion para estructura metalica

Pagar en la fecha de recepción

DESCRIPCIÓN DE CARGO FINANCIERO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	TOTAL
Mano de obra	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
Cemento	10	\$ 26.500,00	\$ 265.000,00
Varilla 5/8	2	\$ 40.600,00	\$ 81.200,00
Platina 1/2 50x50	1	\$ 28.000,00	\$ 28.000,00
Alambre 3 kg	1	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
Gravilla 2 m ²	2	\$ 47.000,00	\$ 94.000,00
		TOTAL A PAGAR	786.200,00 €

Bibliografía

- Acevedo, M. de. (2018). *Municipio de Acevedo*. Huila Magnifica.
<https://huilamagnifica.com/veredas-del-municipio-de-acevedo/>
- Aeolos Wind Turbine. (2021). *2000W Wind Turbine*. <https://www.windturbinestar.com/2000w-wind-turbine.html>
- Alcocer, G. I. G. (2021). *Mercado de Gas Natural*. 15.
[https://www.bmcbec.com.co/sites/default/files/2021-04/Informe Mensual Marzo 2021.04.14.pdf](https://www.bmcbec.com.co/sites/default/files/2021-04/Informe%20Mensual%20Marzo%202021.04.14.pdf)
- Bernal Romero, S., & Niño Sanabria, D. F. (2018). *Modelo Multicriterio Aplicado a la Toma de Decisiones representables en Diagramas de Ishikawa*. 137.
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13894/BernalRomeroSergio2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bohorquez, L. F. (2011). Implementacion De Equipo Energia Renovable (Solar Y Eólico) En La Universidad Militar Nueva Granada. *Energias Renovables*, 10.
[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11983/articulo Copy %281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11983/articulo%20Copy%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cárdenas, V., Álvarez, R., & González, M. (2019). Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 24–29.
[http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/universitarios potosinos 238.pdf#page=26](http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/universitarios%20potosinos%20238.pdf#page=26)
- Carlos E. Caceres. (2016). *Plano DESENGLOBE LOTE LA CELINA* (p. 1).
- Chaviano, R., Luis, J., López, D., & Fleites, C. A. R. (2018). *Evaluación por el método de elementos finitos, el diseño de una torre para aerogeneradores de baja potencia para la*

fábrica de Antenas. 59.

[https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10293/Reyes Chaviano%20Gilberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10293/Reyes%20Chaviano%20Gilberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Clima Acevedo. (2021). Meteoblue.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/acevedo_colombia_3690552

Damaris Rozo, & José Escobar. (2019). *Política exterior y medio ambiente. 68.*

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/31301/MedioambientaPIPEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Del Carpio Casani, E. D., Kuwae Goto, J., & Marquén Fayó, J. (2018). *Estudio De Factibilidad De Planta De Energía Eólica De 233 Mw Para La Generación De Energía Eléctrica Con La Finalidad De Abastecer a Clientes Libres Ubicados En Lima. 282.*

<https://repositorio.uarm.edu.pe/handle/20.500.12833/1927>

Ley No 1715 del 13 de Mayo del 2014, 2014 (2014).

http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

ElectroHuila. (2021). *Cotizacion para la conexión electrica a la red interconectada nacional (p. 2).* ElectroHuila.

Elite 2G950. (2021). ELITE KEEP WORKING. https://elitetools.co/elite-2g950/

Enair Energy. (2021). *E30PRO. https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro*

Eraso-Checa1, F., Escobar-Rosero, E., Paz, D. F., & Morales, C. (2018). Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño. *Revista Científica, 1(31), 13. https://doi.org/10.14483/23448350.12304*

Franco, J. (2016). *CARACTERIZACIÓN DE ESTÍMULOS ECONÓMICOS USADOS EN EL*

MUNDO QUE PUEDAN SER IMPLEMENTADOS EN COLOMBIA PARA FOMENTAR LA INVERSIÓN EN GENERACIÓN EÓLICA JUAN. 2016.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63469/75078165.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Geovanni Vera. (2019). ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN LA COSTA NORTE COLOMBIANA [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA]. In *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA*.

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7114/2019_Tesis_Geovanni_Andres_Vera_González.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gimenez, J., & Gomez, J. (2011). GENERACIÓN EÓLICA EMPLEANDO DISTINTOS TIPOS DE GENERADORES CONSIDERANDO SU IMPACTO EN EL SISTEMA DE

POTENCIA. *UNAL*. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20070/48734>

Gómez Rodríguez, T., Cortazar Martínez, A., & Zambrano Reyes, A. (2020). Análisis técnico y financiero del potencial energético del viento para generar energía eléctrica: el caso de Apan, Hidalgo. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 15(2), 263–276.

<https://doi.org/10.21919/remef.v15i2.378>

Guerrero Hoyos, B. G., Vélez Macías, F. D. J., & Morales Quintero, D. E. (2019). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 44, 23. [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44\(2019-I\)/151561629005/ambiente151561629005_visor_jats.pdf](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/AyD/23-44(2019-I)/151561629005/ambiente151561629005_visor_jats.pdf)

hengfeng-power. (2021). *2kw Wind turbine*. [http://www.hengfeng-power.com/product.asp?sortid=112&id=168&sortpath=0,112,](http://www.hengfeng-power.com/product.asp?sortid=112&id=168&sortpath=0,112)

Ingeniería De La Energía Eólica. (2012). *Ingeniería De La Energía Eólica* (S. A. de C. V. 2013

Alfaomega Grupo Editor (Ed.); Primera Ed). MARCOMBO, S.A.

<http://www.alfaomega.com.mx>

Letcher, T. M. (2017). Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. In *Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines*.

Lopez Lezama, J. M., Villada, F., & Muñoz Galeano, N. (2017). Effects of Incentives for Renewable Energy in Colombia. *Ingenieria y Universidad*, 21(2), 257–272.

<https://doi.org/10.11144/javeriana.iyu21-2.eire>

López, M. V. (2018). Ingeniería de la Energía Eólica. In *Alfaomega* (Vol. 9, Issue 13, p. 284).

<https://doi.org/10.15765/pdv.v9i13.1117>

Mundial, B. (2021). *Producción de energía eléctrica renovable (% de la producción total de electricidad)*. Banco Mundial.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.RNEW.ZS>

Municipio de Acevedo. (2015). Plan municipal de gestión del riesgo de desastres. *CMGRD de Acevedo*, 97.

https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28344/PMGRD_AcevedoHuila_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parque Eólico Jepírachi. (2021). Epm. <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/nuestras-plantas/energia/parque-eolico#:~:text=Tiene una capacidad instalada de,9%2C8 metros por segundo>

Paulo AF, S. G. (2017). BOLETÍN DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA E INTELIGENCIA COMPETITIVA. *Solar Energy Technologies and Open Innovation*, 108, 228–238.

https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/ACUICULTURA_002-

2017/files/assets/downloads/page0007.pdf

Portillo, G. (2021). Aerogenerador vertical. *Renovables Verdes*, 1.

<https://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/#:~:text=Existen tres tipos de aerogeneradores,son Savonius%2C Giromill y Darrius.>

Quintero Polanco, J. D., Molina Mosquera, J. J., & Serrato, J. (2016). Viabilidad técnica para la creación de un complejo eólico generador de energía eléctrica en el departamento del Huila. *Ingeniería y Región*, 15, 49. <https://doi.org/10.25054/22161325.1178>

Renewable, I., & Agency, E. (2019). *Renewable Energy Statistics 2019 Statistiques D ' Énergie Renouvelable 2019 Estadísticas De Energía*.

<https://www.irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>

Rincón, S. M. (2018). ENERGIAS RENOVABLES Un futuro óptimo para Colombia. *Dialnet*, 16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6540491>

Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 28, 83–89. <https://doi.org/10.16924/revinge.28.11>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Sales, I. I. (2019). *Estudio de acomuladores de energía*. 85.

<https://riunet.upv.es/handle/10251/130602>

Salvador Pardillos. (2017). Manual de Energía Eólica: Desarrollo de Proyectos e Instalaciones. *Universitat Politecnica De Valencia*, 51.

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77752/IPP-Cucó - Manual de energía eólica.](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77752/IPP-Cucó - Manual de energía eólica. Desarrollo de proyectos e instalaciones.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

[Desarrollo de proyectos e instalaciones.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77752/IPP-Cucó - Manual de energía eólica. Desarrollo de proyectos e instalaciones.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Spark, W. (2021). *Clima Acevedo, Huila*. Cedar Lake Ventures.

<https://es.weatherspark.com/y/22357/Clima-promedio-en-Acevedo-Colombia-durante-todo-el-año>

Tobías, A., & Rubio, C. (2017). Estado Del Arte De Aerogeneradores De Eje Horizontal Y Vertical. *Jóvenes En La Ciencia*, 3(2), 1996–1970.

[http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/4745/1/Estado del arte de aerogeneradores de eje horizontal y vertical.pdf](http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/4745/1/Estado%20del%20arte%20de%20aerogeneradores%20de%20eje%20horizontal%20y%20vertical.pdf)

Torres, O. F. (2016). *Atlas de vinetos de colombia*. Instituto de Hidrologia, Meterologica y Estudios Ambientales. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>

Ubicación Geografica. (2021). GOOGLE MAPS.

<https://www.google.com/maps/place/1°48'46.7%22N+75°52'24.6%22W/@1.8129803,-75.8740555,252m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d1.8129795!4d-75.8735068>

Uni Trend Technology China Co Ltd. (2021). *UT363/UT363 BT Series Mini Anemometers*. Uni Trend Technology China Co Ltd. <https://doi.org/10.4324/9781315845449-8>

Unidad, N. (2015). Acuerdo de París. *Cooperativismo & Desarrollo*, 29. <https://doi.org/10.16925/co.v25i111.1874>

UPME. (2014). Guia práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014. In *Ministerio Minas y Energia* (Vol. 1). https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf

UPME, & Garcia, C. (2019). *COLOMBIA Pensar nuestro futuro energético La matriz energética y sus posibles transformaciones*. 66. https://www.energycolombia.org/wp-content/uploads/UPME_PEN2050_MATRIZ_ENERGETICA.pdf

UPME, U. de planeación menero energética-. (2019). *Plan Energetico Nacional 2020-2050*. 83.

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/UPME_Presentacion_PEN_V48.pdf

Vallejos, C. E. P., & Barboza, O. T. (2020). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA DE EJE HORIZONTAL, PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CANALES FLUVIALES DE ZONAS RURALES* [UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN].

http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/handle/UNJ/263/Tantalean_BO_Polo_VCE.PDF?sequence=3&isAllowed=y

Villagrán-villegas, L. Y., Hernández-rodríguez, I. V., Anzelmetti-zaragoza, J. C., Marquina-chávez, A., & Calderón-ramón, C. M. (2017). Generalidades de estrategias de control en aerogeneradores de transmisión directa. *Instituto Politécnico Nacional, México, 21*, 17–24.

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61449593003/61449593003.pdf>

Vivas, J. (2019, February). El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia. *EL TIEMPO*, 1. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>

Wattuneeed. (2021). *Bergey Excel 1kW*. <https://www.wattuneeed.com/es/eolienne/1593-aerogenerador-bergey-excel-1kw-carga-de-bateria-24v-48v-dc-0712971129535.html>

Wuxi Flyt New Energy Technology Co. (2021). *FH-2000*.

<https://www.flytpower.com/horizontal-20kw-120v-220v-380v-vertical-100-rpm-150rpm-wind-power-generator-3-phase-50hz-3blades-turbine-product/>