



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

“ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL ANÁLISIS DE
FACTIBILIDAD DE USO DE ENERGÍA EÓLICA EN LAS CABAÑAS
ECOLÓGICAS DEL CERRO DE AVIJO FRENTE A LA CUENCA DEL
LAGO SAN PABLO”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Jefferson David Chicaiza Inuca

DIRECTOR:

MSC. Julio Esteban Guerra Masson

Ibarra – Ecuador 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003827696		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Chicaiza Inuca Jefferson David		
DIRECCIÓN:	Gonzales Suarez- Pijal- Sector Centro		
EMAIL:	jdchicaizai@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0985156310

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE USO DE ENERGÍA EÓLICA EN LAS CABAÑAS ECOLÓGICAS DEL CERRO DE AVIJO FRENTE A LA CUENCA DEL LAGO SAN PABLO
AUTOR (ES):	Chicaiza Inuca Jefferson David
FECHA: DD/MM/AAAA	12/05/2025
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Collaguazo Galeano Gerardo Isaías PhD MSC. Julio Esteban Guerra Masson



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO

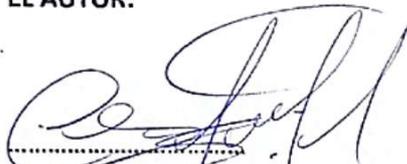


2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 12 días del mes de mayo de 2025

EL AUTOR:



Jefferson David Chicaiza Inuca
CI: 1003827696



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, MSC. Julio Esteban Guerra Masson. en calidad de director del señor estudiante Jefferson David Chicaiza Inuca certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA EL ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE USO DE ENERGÍA EÓLICA EN LAS CABAÑAS ECOLÓGICAS DEL CERRO DE AVIJO FRENTE A LA CUENCA DEL LAGO SAN PABLO"

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

160043493-2

MSC. Julio Esteban Guerra Masson
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado con profundo amor y gratitud a mis padres, Manuel Chicaiza y Ana Inuca, quienes han sido mi mayor fortaleza. Gracias a su esfuerzo incansable, sus sacrificios silenciosos y su apoyo incondicional, hoy culmino una etapa importante de mi vida. Cada logro alcanzado es reflejo de los valores que me inculcaron y del amor que siempre me han brindado. Este título es tan mío como suyo.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por darme la vida, la salud y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa tan importante.

A mis padres, por su amor incondicional, por ser mi guía y mi mayor soporte en cada momento de dificultad y alegría.

A mis hermanos, por su compañía, sus palabras de aliento y por estar siempre presentes, incluso en la distancia. Cada uno ha sido parte esencial en este logro, y los llevo en mi corazón con profundo agradecimiento.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



CONTENIDO

CAPITULO I	15
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	15
1.1.1. Problemática para investigar.	15
1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación	16
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.2 Objetivo general	16
1.2.3 Objetivos específicos	16
1.3 ALCANCE Y DELIMITACIÓN	16
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. ANTECEDENTES	18
2.2. BASES TEÓRICAS	21
2.2.1. Fundamentos de la energía eólica.....	21
2.2.2. Tipos de Aerogeneradores	22
2.2.3. Componentes del aerogenerador	22
2.2.4. Sistema eólico aislado	23
2.3. TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN EL MERCADO PARA LA GENERACIÓN EÓLICA ...	25
2.3.1. Principales fabricantes tecnológicos de aerogeneradores.....	26
2.3.2. Características de aerogeneradores disponibles en el mercado	27
2.3.3. Características de aerogeneradores micro y pequeña potencia disponibles en el mercado	33
2.3.4. Inversores de corriente para sistemas eólicos.....	34
2.3.5. Banco de baterías para sistemas eólicos	36
2.3.6. Controlador de carga usados en sistemas eólicos	38
CAPÍTULO III	40
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.2. DESCRIPCION DEL LUGAR DE ESTUDIO	40
3.3. METODOLOGÍA.....	41
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.	42



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



3.5. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	42
3.6. DETERMINACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LAS CABAÑAS.	50
3.7. ECUACIONES MATEMÁTICAS PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS EÓLICOS, VELOCIDAD, DIRECCIÓN Y DENSIDAD DEL VIENTO	51
Velocidad del viento.....	51
Densidad del viento.....	52
Velocidad que tiene el viento a una altura del suelo	52
Energía cinética proporcionada por el viento.....	53
3.8. ECUACIONES MATEMÁTICAS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DEL POTENCIAL EÓLICO, INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN LINEAL, DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL	54
3.9. ECUACIONES MATEMÁTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO	55
Potencia mínima.....	55
Consumo mensual	55
3.10. ECUACIONES PARA LA SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR, BATERÍAS Y PROTECCIÓN DEL SISTEMA OFF GRID.	56
Selección del aerogenerador.....	56
Potencia instalada.....	58
Capacidad de la batería	58
Numero de baterías.....	58
Selección de la protección para la red.....	59
Cálculo del conductor.....	59
3.11. CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	60
3.12. DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO	63
CAPITULO IV.....	65
4.1. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	65
Análisis a diferentes alturas.....	65
Dirección del viento	66
4.2. PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DEL GENERADOR EÓLICO	68
4.3. SISTEMA AISLADO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	69
Selección del generador eólico.....	69
Controlador de carga	73
Banco de baterías.	74



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Inversor.....	77
Selección del conductor	78
Protección del sistema.....	79
4.4. DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL SISTEMA	80
4.4. VIABILIDAD ECONÓMICA	85
Flujo de caja	85
Tasa interna de retorno – TIR	85
Valor actual neto - VAN	86
Cálculo de los indicadores VAN y TIR	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
ANEXOS	96



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Influencia del viento en un aerogenerador	21
FIGURA 2 Partes de un sistema eólico aislado.....	24
FIGURA 3 Banco de baterías	36
FIGURA 4 Cabañas ecológicas del cerro de Avijo.....	40
FIGURA 5 metodología a seguir.....	41
FIGURA 6 Diagrama de Arduino Uno	43
FIGURA 7 sensor magnético de efecto Hall	44
FIGURA 8 enconder KY- 040 usado para la veleta de viento	45
FIGURA 9 sensor de temperatura y humedad dht11	46
FIGURA 10 Tarjeta microSD lector módulo SPI	46
FIGURA 11 Batería de alimentación del anemómetro	47
FIGURA 12 Anemómetro y medidor de temperatura.....	48
FIGURA 13 Diagrama de conexión de estación meteorológica	61
FIGURA 14 Diagrama de conexión	61
FIGURA 15 estación de recolección de datos.....	62
FIGURA 16 Instalación de la estación meteorológica	63
FIGURA 17 recopilación de datos en un libro de Excel.	64
FIGURA 18 Datos recopilados	64
FIGURA 19 Dirección de viento mes de agosto	67
FIGURA 20 Dirección de viento mes de septiembre.....	67
FIGURA 21 Dirección de viento mes de octubre	68
FIGURA 22 Aerogenerador ZF-M-1KW.....	70
Figura 23 Curva de generación del aerogenerador.....	72
Figura 24 controlador de carga.....	73
FIGURA 25 batería escogida de LiFePO4.....	76
FIGURA 26 inversor seleccionado RBP1500W	77
FIGURA 27 Disyuntor seleccionado QO120CP DE 20ª	80
Figura 28 Periodo de recuperación de inversión	87



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



INDICE DE TABLAS

TABLA 1 Tipos de aerogeneradores.....	22
TABLA 2 Componentes de sistema eólico	24
TABLA 3 Fabricantes de aerogeneradores	26
TABLA 4 Características de microaerogeneradores	27
TABLA 5 Características de pequeños aerogeneradores	29
TABLA 6 Características de los aerogeneradores de mediana potencia.....	30
TABLA 7 Características de aerogeneradores disponibles del mercado	33
TABLA 8 Características de los principales tipos de batería.....	37
TABLA 9 Especificaciones de Arduino uno	43
TABLA 10 Características de sensor magnético.....	44
TABLA 11 Características de la batería.....	47
Tabla 12 Consumo de energía del sistema electrónico para adquisición de datos	47
TABLA 13 Consumo energético día de las cabañas	50
TABLA 14 cálculo del consumo mensual.....	51
TABLA 15 Datos del viento medidos durante un trimestre	65
TABLA 16 cálculos de los parámetros eólicos a diferentes alturas	66
TABLA 17 Parámetros de la velocidad más frecuente	68
TABLA 18 Comparación entre la energía de consumo y la de generación del aerogenerador	69
TABLA 19 Características de aerogeneradores en el mercado.....	70
TABLA 20 Características del aerogenerador ZF-M-1KW	71
TABLA 21 comportamiento del aerogenerador	72
TABLA 22 características controlador de carga	73
TABLA 23 Características de tipos de baterías en el mercado	75
TABLA 24 Características de la batería seleccionada	76
TABLA 25 Características del inversor	78
TABLA 26 Resumen de la selección del cableado	79



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



TABLA 27 Costo del sistema.....	80
TABLA 28 Cálculo de los costos de importación.....	81
TABLA 29 Reemplazo de los materiales.....	84
TABLA 30 Parámetros para el cálculo de la viabilidad económica.....	86
TABLA 31 Indicadores económicos del proyecto	87



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



RESUMEN

Hoy en día la búsqueda económica para las personas obliga a aprovechar recursos de las diferentes zonas del relieve ecuatoriano, por ello se desarrollan proyectos económicos enfocados en el turismo, esto conlleva a búsqueda de energías que abastezcan a las instalaciones alejadas la red de distribución de energía eléctrica. El trabajo por presentar brinda un enfoque de Estudio técnico y económico para el análisis de factibilidad de uso de energía eólica en las cabañas ecológicas del cerro de Avijo frente a la cuenca del Lago San Pablo, el estudio está centrado en el análisis de parámetros técnicos tanto económicos con el objetivo de determinar el potencial eólico de la zona de estudio. La información recabada da a conocer que la velocidad promedio es de 5.81 m/s durante la recopilación de los datos en periodo de 3 meses, a continuación, se procede a la selección del aerogenerador, las características de la zona con lleva a la selección del aerogenerador ZF-M-1KW de eje horizontal que cubre las demandas de energía del lugar de estudio y los elementos que intervienen en el proceso de manejo de la energía como son controlador, inversor, protecciones y conductores. Con la selección de los equipos se procede a realizar el estudio económico y la viabilidad del proyecto, a través de parámetros como son el TIR, VAN y PRI, dando como resultado 12%, valor positivo, y el tiempo de retorno de 14 años, siendo como tiempo de vida del aerogenerador de 20 años, estos resultados muestran que el proyecto es viable para abastecer de energía eléctrica a las cabañas del lugar de estudio.

Palabras claves: sistema aislado, aerogenerador, potencia, TIR, VAN, viabilidad económica



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



ABSTRACT

In today's economy, individuals must leverage resources from diverse geographical areas, prompting the development of tourism-focused projects. However, such initiatives often face challenges in securing energy supplies for remote facilities disconnected from the main electrical grid. This study presents a technical and economic analysis of wind energy feasibility for ecological cabins on Avijo Hill, near San Pablo Lake Basin. The research focuses on evaluating technical and economic parameters to determine the wind energy potential of the area. Data collected over three months revealed an average wind speed of 5.81 m/s. Based on site characteristics, the horizontal-axis wind turbine ZF-M-1KW was selected to meet the energy demands of the cabins, alongside complementary components such as charge controllers, inverters, protection devices, and conductors. An economic viability assessment was conducted using NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return), and Payback Period (PRI). Key results include IRR: 12%, Positive NPV, indicating profitability, payback Period: 14 years (within the turbine's 20-year lifespan). These outcomes confirm the project's viability for electrifying the cabins sustainably.

Keywords: Off-grid system, wind turbine, power generation, IRR, NPV, economic feasibility.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

Tema

Estudio técnico y económico para el análisis de factibilidad de uso de energía eólica en las cabañas ecológicas del cerro de Avijo frente a la cuenca del Lago San Pablo.

El problema

1.1 Problema de investigación.

1.1.1. Problemática para investigar.

Actualmente, la preocupación por el medio ambiente y la necesidad de encontrar fuentes de energía sostenibles y renovables ha sido muy relevante. En este contexto, las cabañas ecológicas ubicadas en el cerro de Avijo, frente a la cuenca del Lago San Pablo, representan un espacio turístico y fuente de ingreso económico para el sector alto de la comunidad de Pijal. Debido a que cuenta con espacios adecuados pegados a la naturaleza con hermosos miradores que dan una vista privilegiada de la cuenca del Lago San Pablo. Por ende, un punto fundamental es energía eléctrica para las cabañas, ya que la conexión a la red eléctrica está a una distancia grande.

A pesar de la aparente idoneidad de la energía eólica para este entorno de las cabañas ecológicas del cerro de Avijo, existen varios desafíos técnicos y económicos que deben ser abordados para evaluar la viabilidad de implementar un sistema de energía eólica en estas cabañas.

Por lo tanto, el problema central radica en la necesidad de un análisis técnico y económico que evalúe la factibilidad del uso de energía eólica en las cabañas ecológicas del cerro de Avijo frente a la cuenca del Lago San Pablo.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Qué parámetros deben evaluarse para validar un sistema de energía eólica en las cabañas ecológicas del cerro de Avijo, frente a la cuenca del Lago San Pablo, como fuente de energía sostenible y renovable?

1.2 Objetivos

1.2.2 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica y económica para el aprovechamiento de la energía eólica en las cabañas ecológicas del cerro de Avijo frente a la cuenca del Lago San Pablo para el abastecimiento de energía mediante la conversión de energía eólica-eléctrica.

1.2.3 Objetivos específicos

- Describir las características de tecnologías disponibles en el mercado para la generación de energía eléctrica con la explotación de la energía eólica de la zona
- Determinar el potencial de generación eléctrica
- Realizar el análisis económico

1.3 Alcance y delimitación

Este estudio se centra en el análisis técnico y económico del aprovechamiento de la energía eólica en las cabañas ecológicas del Cerro de Avijo, ubicadas en la comunidad de Pijal sector alto. Se evalúan los parámetros físicos ambientales del lugar de las cabañas durante el día, viento y sus variaciones en el día, y la demanda de energía que estas cabañas requieren porque es un sistema aislado y los generadores solo abastecerán a las instalaciones, con lo que se busca destacar la importancia de esta implementación en el contexto local.

Para evaluar los parámetros físicos, se utilizarán instrumento como anemómetros contrastando con los datos estadísticos presentados por el INAMHI (instituto nacional de meteorología e hidrología) para medir la velocidad y dirección del viento. Además, se



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



considerarán los requisitos de infraestructura necesarios para la instalación, operación y mantenimiento del sistema, incluyendo conexiones eléctricas e instalaciones de almacenamiento de energía. Asimismo, se analizarán los costos asociados con la compra, instalación y mantenimiento de las turbinas eólicas, así como otros equipos e infraestructuras involucradas en el proyecto. Además, se examinará la topografía del Cerro de Avijo, incluyendo su altitud y forma del terreno, para optimizar la ubicación de las instalaciones y maximizar la eficiencia del sistema.

1.4 Justificación

El gobierno ecuatoriano promueve el desarrollo del sector eléctrico, es por ello se busca la implementación de tecnologías ambientales limpias que minimicen los factores contaminantes, así como las energías renovables, aprovechando la ubicación geográfica. El estudio para el aprovechamiento de energía eólica en esta zona contribuye a la reducción de la huella de carbono y la conservación del entorno natural del Lago San Pablo y sus alrededores. Con estas características la adopción de energía eólica puede tener un impacto positivo en la economía de la comunidad de Pijal al fomentar el turismo sostenible y amigable con el medio ambiente.

Al aprovechar la fuente de energía eólica, afectará directamente el suministro de energía eléctrica confiable para las instalaciones de las cabañas, ya que el acceso a la red eléctrica es costoso y la expansión de la red de distribución afecta directamente a la relación con una zona amigable con el entorno natural de las cabañas.

Con el desarrollo del estudio para la implementación de la central eólica se beneficia directamente al fortalecimiento del turismo de la comunidad, debido al mejoramiento en las instalaciones de las cabañas, brindando un mejor confort para los turistas tanto nacionales como internacionales que visitan este lugar.

Considerando la ubicación geográfica de las cabañas al ser parte de cuenca del Lago San Pablo, se puede aprovechar la presencia continua de los vientos de esta zona montañosa, además que las cabañas cuentan con el espacio y las características físicas que demuestran la viabilidad para la implementación del proyecto.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La energía eólica permite el aprovechamiento de la velocidad del viento y su transformación en energía eléctrica, para lograr este cambio se utiliza los aerogeneradores. La energía eólica se da debido a que el sol, que es quien genera las corrientes de viento calienta irregularmente la superficie de la Tierra, conforme sube el aire caliente, el aire más frío baja, con esta diferencia de presiones se produce el viento [1]. La energía eólica es una de las tecnologías de energía renovable más grandes, desarrolladas y utilizadas comercialmente para la generación de electricidad. Estos sistemas brindan ventajas y desventajas frente a otros sistemas de energía y su utilización requiere de un estudio técnico previo [2].

Las razones para el desarrollo positivo de los mercados eólicos mundiales se centran en las ventajas económicas de la energía eólica y su creciente competitividad en relación con otras fuentes de electricidad, y la necesidad de aplicar tecnologías sin emisiones para mitigar el cambio climático y la contaminación del aire [3].

En Ecuador continental, el primer parque eólico puesto en funcionamiento puede generar 16.5 MW, energía limpia para bastecer la demanda energética del país [4]. En la región insular del archipiélago de las Galápagos, se han desarrollado los proyectos: Eólico Baltra, Eólico San Cristóbal, que brindan energía limpia en este entorno frágil y megadiverso en cuanto a fauna y flora únicas en el mundo [3].

Ecuador ha incentivado la generación de energía a partir del viento y el recurso solar de diferentes formas. Una de ellas, el desarrollo del Atlas eólico, donde se pueden identificar los lugares potencialmente aprovechables. Otra estrategia ha sido la fijación de precios preferentes de compra de energía eléctrica, establece precios preferentes para la generación de electricidad no convencional, diferenciando entre el territorio continental y el insular de las Galápagos [3].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Para empezar el diseño de un aerogenerador, primero se debe analizar el potencial eólico de su posible zona de ubicación, de vital importancia cuando se habla de entornos adecuados, sometidos a complejos efectos aerodinámicos, pues al conocer el comportamiento de los vientos, se encontrará la mejor ubicación para posicionar el aerogenerador; encontrando lugares donde habrá un mayor potencial eólico comparado con vientos menos perturbado [6].

La vida productiva de un parque de generación eólica o de sus componentes, los aerogeneradores, es el tiempo entre que empieza a entregar energía en su punto de conexión hasta que deja de hacerlo definitivamente, independientemente de la causa que genere esa parada. En este punto definimos tres conceptos asociados: vida económica, vida útil y obsolescencia. La vida económica se refiere al tiempo en que el emprendimiento eólico debe amortizarse. Normalmente este tiempo oscila entre 15 y 20 años. Aunque si las condiciones técnicas están dadas, el parque eólico puede seguir produciendo y generando beneficios económicos [4].

La Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) estima una capacidad instalada 7800 MW en parques eólicos en tierra y un potencial del recurso eólico (RE) de 633 GW [5]. La energía eólica es estimulada por los gobiernos para generar empleos, diversificar las fuentes de suministro energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta, además de ser una energía limpia aporta ventajas medioambientales. En la actualidad se desarrollan sistemas eólicos para ayudar en la generación de energía en países de medio desarrollo como también en pueblos, comunidades y en áreas rurales; las comunidades rurales sin acceso a la electricidad satisfacen sus necesidades de iluminación y comunicaciones sociales con fuentes alternativas [6].

La estimación de los tres parámetros del modelo estático de la turbina eólica; la densidad del aire, el área de barrido del rotor A y la función, el método para la aplicación depende del viento disponible donde esté instalado el aerogenerador, que deben trabajar según las características del aerogenerador [10].



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



La tecnología para aprovechar la energía eólica requiere conocer aspectos de ingeniería relacionados con sistemas eléctricos, mecánicos, estructurales y de control. Para cada sistema se han desarrollado varias normativas. Las normas internacionales que se han desarrollado están para los sistemas eólicos y aerogeneradores son emitidas por la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) este es un organismo que en conjunto con los comités de distintas naciones buscan llegar a un acuerdo definitivo de normalización en cuanto al aprovechamiento de la energía eólica.[7]

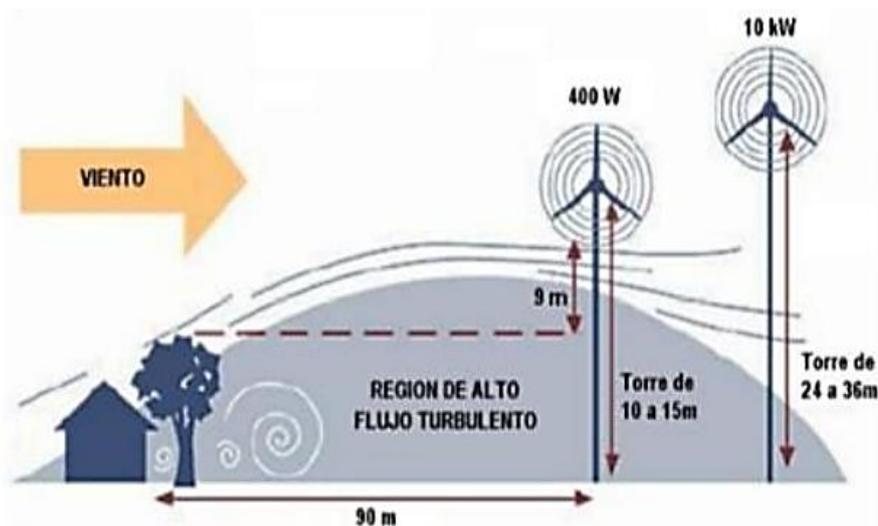
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos de la energía eólica

Las fuentes de energía en la naturaleza se clasifican como renovables y no renovables. Entre estas energías podemos encontrar la eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, solar y las de la biomasa, una característica de relevancia de las energías renovables es que ofrecen la posibilidad de generar electricidad y calor casi sin contaminación, a bajos precios de operación y de manera sustentable [12].

La energía eólica se deriva de forma indirecta de energía solar, los vientos son movimientos grandes de masas de aire en la atmósfera terrestre. Esto sucede debido al distinto calentamiento de la atmósfera terrestre por el Sol.

FIGURA 1 Influencia del viento en un aerogenerador



En la figura 1 se puede observar cómo es el comportamiento del viento en cuanto a un obstáculo y un aerogenerador, tomado de [8]

El aire en las regiones ecuatoriales se calienta de forma más fuertemente que en otras latitudes, esto permite que se vuelva más ligero y menos denso. Este fenómeno de



presiones conduce el flujo de aire desde las altas a las bajas presiones, gracias a este fenómeno se da la velocidad y dirección inicial en el movimiento de las masas de aire.

2.2.2. Tipos de Aerogeneradores

TABLA 1 Tipos de aerogeneradores

Tipos	Características
Aerogenerador de eje vertical	El eje no solo es perpendicular a la dirección de giro, sino que es también perpendicular al suelo o superficie de montaje.
Aerogenerador de eje horizontal	La turbina está provista de un rotor cuyo eje es sensiblemente paralelo a la dirección del viento.
Según el número de palas	El rotor puede poseer una, dos, tres y muchas palas.
Velocidad constante	No necesitan electrónica de potencia para conseguir generar No se consideren una opción de futuro.
Velocidad variable	Se incorpora un convertidor electrónico para poder trabajar con tensión y frecuencia variables, y conectarse al sistema de tensión y frecuencia fija de la red.

La tabla 1 muestra los tipos de aerogeneradores que se han ido desarrollando con el pasar los años, por ende son una tecnología que se ha venido desarrollando desde hace muchos años atrás [6].

Este tipo de tecnología han ido evolucionando con el pasar los años con el fin de aprovechar la energía eólica desde los molinos de viento hasta la actualidad donde podemos encontrar aerogeneradores los cuales brinda energía desde pequeños hasta a grandes potencias, dependiendo del sistema que se busca implementar.

2.2.3. Componentes del aerogenerador



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Las turbinas extraen la energía de los sus componentes fundamentales son:

Rotor. Incluye el buje y las palas (por lo general tres, aunque se encuentran en el mercado modelos de dos palas e incluso de una pala).[9]

Góndola: contiene, el generador eléctrico, el multiplicador y los sistemas hidráulicos de control, orientación y freno.

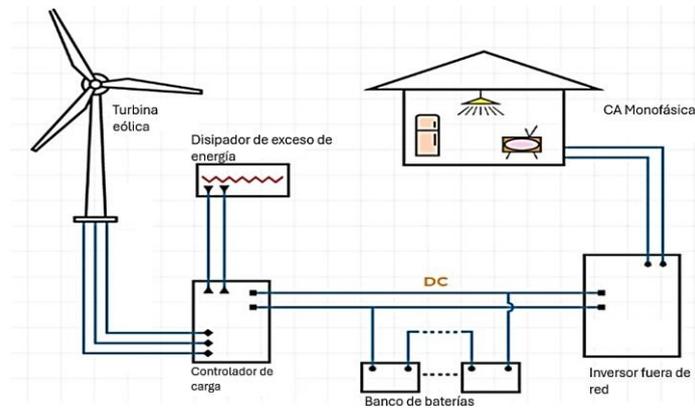
Torre: soporta la góndola y el rotor puede ser tubular o de celosía (estas últimas apenas se emplean en los grandes aerogeneradores debido a que generan un mayor impacto visual).[10]

Las palas: Estas se sitúan sobre la parte de arriba de la turbina. Su función es aprovechar los flujos de corriente del viento, cuando esto pasa hace que se reduzca la presión del aire en un lado de la pala al haber diferencia con el otro lado crea sustentación y resistencia, cuando la sustentación es mayor que la resistencia, el rotor gira.

2.2.4. Sistema eólico aislado

Este sistema está aislado del sistema de la red eléctrica de distribución, su generación abastece para su carga, por lo que la potencia generada se consumirá dentro del sistema, por no conectarse a la red se denomina sistemas aislados y se encuentran lejos de la red eléctrica en lugares alejados.

FIGURA 2 Partes de un sistema eólico aislado



En la FIGURA 2 [11] se muestran los componentes de un sistema eólico aislado, se aplican estos sistemas cuando se lo instala en lugares alejados de las líneas de distribución eléctrica, que deben estar cerca del centro de cargas.

TABLA 2 Componentes de sistema eólico

COMPONENTE	DESCRIPCION
Turbina eólica o aerogenerador	Rotor. Incluye el buje y las palas Góndola. Contiene, entre otros componentes, el generador eléctrico, el multiplicador y los sistemas hidráulicos de control, orientación y freno.
Banco de baterías	Almacena la energía generada con el fin de tener la energía para el consumo durante las horas donde el viento es escaso
Electrónico de control	Permite el control de algunos componentes aerogenerador.
Multiplicador de caja de cambios	Permite las partes móviles del aerogenerador giren de manera adecuada para generar la electricidad.
Salida del sistema	Depende del tipo de energía que se va a necesitar corriente alterna o continua.
Zona de cargas o punto de consumo	Son los lugares donde no hay una distribución eléctrica, donde la energía eléctrica es escasa o nula.
Inversor	Transforma la corriente continua en alterna, puede ir desde los 12 V hasta los 100 V.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



En la tabla 2 [12] Este tipo de sistemas se caracterizan por estar aislados de la red, ofrecen energía en lugares donde se realiza la antelación. son utilizados en aplicaciones como:

- Telecomunicaciones como telefonía.
- Avisos como se señales de tráfico luminosas.
- Alumbrado público y ornamental.
- Bombeo de agua.

2.3. Tecnologías disponibles en el mercado para la generación eólica

- Aerogeneradores inteligentes

Entre sus características, son la integración de tecnologías innovadoras como la aplicación de Internet, y generan datos que luego harán analizados y algoritmos para el aprendizaje automático con los que se busca optimizar el rendimiento y mejorar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos eólicos. Las turbinas son capaces a la adaptación a las condiciones que varían en la velocidad del viento en tiempo real, con los cuales se va realizando ajustes para aprovechar al máximo la generación de electricidad, además que tienen un sistema de protección en caso de que los vientos sean de velocidades extremas.[13]

- Características de los Aerogeneradores de eje vertical

El eje de rotación está en la dirección de la torre de apoyo al aerogenerador son equipos. La ventaja con la que cuenta este tipo de aerogenerador está en las palas son de tipo vertical, se los pueden ubicar junto a otros aerogeneradores del mismo tipo, no requieren de un sistema de orientación a donde sopla el viento debido a que sus palas son omnidireccionales, debido a esta ventaja se pueden ubicar más cerca del suelo, además que su mantenimiento sencillo y pueden trabajar con velocidades de viento más reducidas[14].



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



La potencia de generación de este tipo de aerogeneradores es más reducida en comparación con los aerogeneradores de eje horizontal, por lo que solo se hace uso en generación de pequeñas potencias.

2.3.1. Principales fabricantes tecnológicos de aerogeneradores

El Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) ha dado a conocer dentro de la primera edición de su anual Global Wind Market Development – Supply Side Data 2018. El informe desvela que más del 50% de los 15 principales fabricantes de aerogeneradores son chinos.[15]

TABLA 3 Fabricantes de aerogeneradores

Lugar que ocupara	Fabricantes	País de fabricación
1°	Vestas	Dinamarca
2°	Goldwind	China
3°	Siemens Gamesa	España, Dinamarca, india
4°	GN renewable energy	EE. UU
5°	Envision	China

La tabla 3 [15, p. 15] muestra los principales fabricantes de aerogeneradores.

Dentro del mercado de las energías renovables el aprovechamiento del recurso eólico se ha desarrollado en todo el mundo, por ende, los fabricantes de tecnologías eólicas van desarrollando nuevos componentes que permiten aprovechar al máximo la energía del viento, hoy en día se tiene aerogeneradores los cuales ofrecen dispositivos capaces de ofrecer potencias de acuerdo con las necesidades del cliente, desde microgeneradores hasta grandes generadores eólicos.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



2.3.2. Características de aerogeneradores disponibles en el mercado

Los aerogeneradores pueden clasificarse según su potencia nominal, que se refiere a la cantidad máxima de electricidad que pueden generar en condiciones ideales. La clasificación de los aerogeneradores por su potencia ayuda a caracterizar su capacidad y tamaño.

- **Microaerogeneradores:**

Los microaerogeneradores son dispositivos de generación de energía eólica diseñados para producir electricidad en una escala pequeña, son utilizados para la producción de energía en baja escala, con potencias de hasta 500 W, y generalmente se usan en casas, edificios, y sitios aislados, ya sea conectándose a la red o mediante la utilización de baterías que almacenan la energía producida[16].

TABLA 4 Características de microaerogeneradores

CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
Potencia Nominal:	Menos de 500 W.
Diseño Compacto	Tiene un diseño más compacto
Tamaño y Peso:	Son más pequeños y ligeros en comparación con aerogeneradores de mayor escala
Tecnologías de Rotor:	Pueden utilizar rotores de eje vertical o horizontal, dependiendo del diseño específico y de las condiciones del sitio.
Generador de Imanes Permanentes	Hacen uso de imanes permanentes para su generación



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Hacen uso de controladores	Sistemas de Control Incorporan sistemas de control para regular la carga de las baterías o el uso directo de la electricidad generada
Almacenamiento de Energía:	están asociados con sistemas de almacenamiento de energía, como baterías, para garantizar un suministro constante incluso cuando no hay viento

La tabla 4 [17] brinda la información acerca de las características con que tienen los microaerogeneradores, desde las características físicas y características técnicas, estos aspectos son de importancia para poder hacer uso de estos aerogeneradores dependiendo la potencia que se busca obtener de la generación.

- **Aerogeneradores Pequeños:**

Estos sistemas son utilizados para aplicaciones específicas, como proporcionar energía a lugares remotos, hogares aislados o para alimentar dispositivos y equipos de baja potencia[18].

TABLA 5 Características de pequeños aerogeneradores

Características	Descripcion
Potencia Nominal:	los aerogeneradores pequeños tienen una potencia nominal inferior a 100 kilovatios (kW)
Diseño del Rotor:	pueden tener rotores de eje horizontal o vertical
Generador:	utilizan generadores de baja potencia con tecnología de imanes permanentes
Velocidad de Arranque:	tienen una velocidad de arranque relativamente baja es decir que generan electricidad con vientos más suaves.
Sistemas de Control:	Incorporan sistemas de control para regular la velocidad del rotor y la carga de las baterías
Sistemas de Almacenamiento de Energía:	muchos aerogeneradores pequeños están conectados a sistemas de almacenamiento de energía como baterías.



La tabla 5 [19] muestra las características físicas y técnicas que poseen los aerogeneradores pequeños, además de los complementos que se necesitan para poder realizar la instalación y aprovechar la energía que brinda el viento y transformarla en energía eléctrica.

- **Aerogeneradores de Mediana Potencia:**

Los aerogeneradores de mediana potencia están en un rango de 100 kW a 1 MW. Estas turbinas eólicas de mediana escala son comúnmente utilizadas en parques eólicos, así como en aplicaciones industriales y comerciales.[20]

TABLA 6 Características de los aerogeneradores de mediana potencia

Características	descripcion
Potencia Nominal	rango típico de potencia nominal: 100 kW a 1 MW
Tamaño del Rotor	el diámetro del rotor suele estar en el rango de 20 metros a 60 metros, dependiendo del modelo y el fabricante.
Altura de la Torre	la altura de la torre varía, pero suele oscilar entre 30 y 80 metros.
Velocidad de Viento de Arranque	la velocidad de viento a la que el aerogenerador comienza a generar electricidad suele ser moderada, en el rango de 3 a 5 metros por segundo
Velocidad de Viento Nominal	operan de manera más eficiente a una velocidad de viento nominal, que

	generalmente está entre 10 y 15 metros por segundo.
Generador	utilizan generadores síncronos o asíncronos.
Sistemas de Control	incorporan sistemas de control sofisticados que ajustan la orientación del rotor y la velocidad de giro para maximizar la eficiencia en diferentes condiciones de viento
Frenado y Parada de Emergencia	se encuentra equipado con sistemas de frenado y parada de emergencia con el fin de dar protección a la turbina en caso de vientos extremadamente fuertes o situaciones anormales.
Compatibilidad de Red	diseñados para ser conectados a la red eléctrica y generar electricidad que se integra directamente con la red

La tabla 6 [21] presenta información acerca de los aerogeneradores de mediana potencia, características técnica importantes con las cuales se puede realizar un estudio para el aprovechamiento eólico.

- **Aerogeneradores de Gran Potencia:**



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Los aerogeneradores de gran potencia son aquellos diseñados para generar mucha electricidad de cientos de kilovatios a varios megavatios. Estas turbinas eólicas se usan en parques eólicos a gran escala y en instalaciones de generación de energía eólica.

Potencia Nominal: viene dada desde varios cientos de kilovatios hasta varios megavatios. Pueden superar los 5 MW y, en algunos casos, alcanzar los 10 MW o más.

Tamaño del Rotor: el diámetro del rotor es significativamente grande, generalmente en el rango de 70 metros a más de 160 metros,

Altura de la Torre: las torres son altas para aprovechar vientos más consistentes y velocidades de viento superiores. Las alturas típicas oscilan entre 80 metros y 150 metros.

Velocidad de Viento de Arranque: la velocidad de viento a la que comienzan a generar electricidad es moderada y suele situarse alrededor de 3 a 4 metros por segundo.

Velocidad de Viento Nominal: operan eficientemente a velocidades de viento nominales que pueden oscilar entre 12 y 25 metros por segundo.

Generador: se utilizan generadores síncronos de imanes permanentes o generadores asíncronos para convertir la energía mecánica en electricidad.

Sistemas de Control Avanzado: incorporan sistemas de control avanzados que ajustan la orientación del rotor y la velocidad de giro para optimizar la eficiencia y proteger la turbina.

Frenado y Parada de Emergencia: equipados con sistemas de frenado y parada de emergencia robustos para proteger la turbina en condiciones climáticas extremas.

Compatibilidad de Red y Conexión a la Red Eléctrica: diseñados para cumplir con los requisitos de la red eléctrica y conectarse de manera eficiente a la infraestructura eléctrica.

Monitoreo Remoto y Tecnología de la Información: estos aerogeneradores están equipados con sistemas de monitoreo remoto y tecnología de la información para el seguimiento en tiempo real, diagnóstico y mantenimiento predictivo.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Tecnología de Enfriamiento: existen modelos incorporan sistemas de enfriamiento avanzados para optimizar el rendimiento del generador y otros componentes

2.3.3. Características de aerogeneradores micro y pequeña potencia disponibles en el mercado

Para la adquisición del generador eólico se lo puede hacer a través de la compra en tiendas online, estas páginas de compra facilitan la adquisición de equipos para la generación de energía eólica. Brindan una variedad de aerogeneradores de pequeña escala para uso residencial hasta modelos de gran envergadura destinados a parques eólicos comerciales, facilita la información de características técnicas, capacidades de generación, información detallada sobre la instalación, mantenimiento y rendimiento de los aerogeneradores, facilitando así la toma de decisiones informadas. Con un enfoque en la sostenibilidad y la transición hacia fuentes de energía renovable.

TABLA 7 Características de aerogeneradores disponibles del mercado

Características Tipo	Marca	Potencia	Voltaje	Peso del artículo (kg)	Precio en dólares	tipo
Pikasola Generador de turbina eólica	Pikasola	400 W	24 V	8.43	269	micro
Generador de turbina de viento de eje vertical	Hengjingtr	12KW	12 V, 24 V, 48 V	10.0	490	pequeña



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Turbina eólica, generador de eje vertical de 5 aspas	Warrant	1200 W	48 voltios		400	micro
Vertical Axis Wind Turbine	OLONETO	3000W	48 v		960	micro

La tabla 7 [22] Dentro del mercado podemos encontrar los aerogeneradores de micro y baja potencia los cuales son adecuados para proveer de energía necesaria para el consumo doméstico, así como para el consumo energético de pequeñas instalaciones, para poder escoger el mejor aerogenerador en el proyecto se debe tener el análisis de carga que tiene la residencia que se va a suministrar.

2.3.4. Inversores de corriente para sistemas eólicos.

Los Inversores de corriente transforman un voltaje de entrada de CD a un voltaje de salida en corriente alterna, donde se obtienen la magnitud y frecuencia deseada por el cliente o usuario, es decir, este tipo de tecnología convierten la corriente directa proporcionada por el banco de baterías a corriente alterna como las que la red eléctrica proporciona, con la cual se puede alimentar componentes eléctricos del hogar como lámparas, televisores, refrigeradores entre otros.

Características de los inversores en el mercado.

- Los inversores proporcionan en su salida 120Vac o en 240Vac, y se puede seleccionar la frecuencia entre 50Hz o 60Hz.
- Los modelos de inversores comerciables permiten la operación de dos inversores de 120V para tener una salida de 240V o tres inversores para una toma trifásica.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Estos inversores generalmente trabajan con bancos de baterías de 12, 24 o 48 Volts.

Características de inversores off- grid en el mercado

Este tipo de inversores off-grid son utilizados en sistemas de generación donde no se conecta a la red eléctrica, este tipo de inversor son utilizados en las regiones en las cuales son muy difícil la conexión a la red eléctrica debido a que es de muy difícil acceso o demasiado costoso.[23]

- El inversor arranca automáticamente al detectar alguna carga siempre que haya potencia del generador o acumulador.
- Permite sobrecarga permite soportar picos de corriente durante unos segundos, si pide la carga, es decir, cuando se trabaja motores. El pico puede alcanzar de 3-4 la potencia nominal.
- Protección ante sobrecarga: da a conocer si el inversor posee un sistema de corte por baja tensión de la batería esta característica es imprescindible cuando los inversores se encuentran conectados directamente a las baterías.
- La Posibilidad de conectarse en paralelo con inversores de otros generadores en instalaciones con consumos variables o en Microred.[24]

Inversor monofásico

Este tipo de inversor se utiliza para convertir la energía de corriente continua en corriente alterna monofásica, son ideales para instalaciones que generan menos de 10 kW.

Inversor trifásico

Este sistema de corriente distribuye la electricidad en tres fases diferentes. La tecnología que usan este tipo de inversor con salidas trifásicas está diseñada para aquellos generadores que proporcionan potencias superiores a 10 kW.[25]

2.3.5. Banco de baterías para sistemas eólicos

Los bancos de baterías ofrecen un sistema en la cual el almacenamiento de la energía eléctrica es posible, gracias a este tipo de sistema podemos tener una variedad de beneficios en muchos campos donde el acceso a la red eléctrica es nulo, gracia a las características de almacenamiento se puede garantizar la confiabilidad, estabilidad y eficiencia del sistema eólico. Contribuyendo en el almacenamiento, distribución de energía en sistemas de energías renovables y además que proporcionan un respaldo cuando se da las interrupciones en la red eléctrica.[26]

FIGURA 3 Banco de baterías



Fuente 1 [27]

Características de los bancos de batería

El número de unidades que conforman un banco de baterías puede variar dependiendo de varios factores, como la capacidad de las baterías, la cantidad de energía que se desea almacenar, el uso específico, el voltaje del sistema y el tipo de batería utilizada. Un banco

de baterías puede constar de solo dos baterías o de varias docenas, dependiendo de las necesidades del sistema.[27]

Banco de baterías en el mercado

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de baterías, dentro de estos tenemos a las baterías de plomo-ácido, de iones de litio y de níquel-cadmio. Cada tipo de batería tiene sus propias características y rendimientos, por lo que debe seleccionar la más adecuada para su aplicación.[26]

TABLA 8 Características de los principales tipos de batería

Tipo de batería	Tensión por vaso	Tiempo de carga	Autodescarga por mes	Numero de ciclos	Capacidad por tamaño	Precio en dólares
Plomo-ácido	2	8-16 hora	< 5%	500-800	30-50 Wh/kg	250
Níquel - cadmio	1.2	1 hora	20 %	2000	50-80 Wh/kg	480
Níquel - metal híbrido	1.2	2-4 horas	20%	500-2000	60-120 Wh/kg	450
Ion de litio	3.6	2-4 horas	6%	400-1200	110-160 Wh/kg	920

La tabla 8 [28] brinda la información de tipos de baterías y como determinar la capacidad del banco de baterías, se necesita conocer el consumo eléctrico de tus dispositivos y equipos. Se debe tener en consideración las pérdidas en eficiencia cuando se realiza la conversión y almacenamiento de energía. Las baterías proporcionan ciclos de carga y descarga, tras esto su capacidad disminuye. Se debe considerar que las baterías y la



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



frecuencia con la que se van a descargar para realizar un dimensionamiento adecuado para que el sistema funcione en óptimas condiciones por un tiempo prolongado.

2.3.6. Controlador de carga usados en sistemas eólicos

El controlador rectifica esta corriente para convertirla en corriente continua compatible con los acumuladores y controla cuanta energía se suministra al acumulador para evitar su sobrecarga. Cuando la batería está cargada, el regulador de carga desconecta el generador de la batería y se conectan las resistencias de carga para que frenen el sistema, si la velocidad del viento es elevada.[29]

El controlador brinda las protecciones adecuadas contra sobrecarga, sobre descarga, cortocircuitos y sobretensiones dentro del sistema.

También se pueden encontrar tecnologías con las cuales se puede realizar el control de la velocidad del aerogenerador, esta característica proporciona el frenado o la desconexión del aerogenerador cuando las baterías del sistema de almacenamiento están llenas o completamente cargadas, o cuando se dan vientos muy fuertes con esto se evita daños al sistema.

- Controlador con auto freno

Aprovechar el excedente de corriente que genera la torre eólica. Cuando hay vientos demasiado fuertes, la torre produce más energía, si las baterías se encuentran totalmente cargadas el regulador se autoalimenta para que la torre frene su velocidad.[30]

- Controlador con resistencias

Estos dispositivos son mucho más simples que los reguladores con auto freno. Toman la electricidad que genera la torre eólica y usan solo lo necesario para cargar las baterías, de esa manera las protegen. Cuando alcanzan su carga, disipa todo el exceso de electricidad.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



En el mercado se cuenta con dos tipos de dispositivos controladores: PWM y MPPT. Los controladores PWM (Modulador por amplitud de pulso) y MPPT (Modulador por seguimiento de potencia máxima).

Características del controlador de carga disponible en el mercado

Controlador de carga MPPT 100A LCD 12/24/48V SRNE es un controlador de carga que permite recargar las baterías a partir de la energía.[31]

- Este controlador de carga hace uso de tecnología MPPT.
- Voltaje de Trabajo del Regulador: Compatible con instalaciones a 12V, 24V, 36V y 48V
- Amperios Máximos de Carga del Regulador: 100A

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

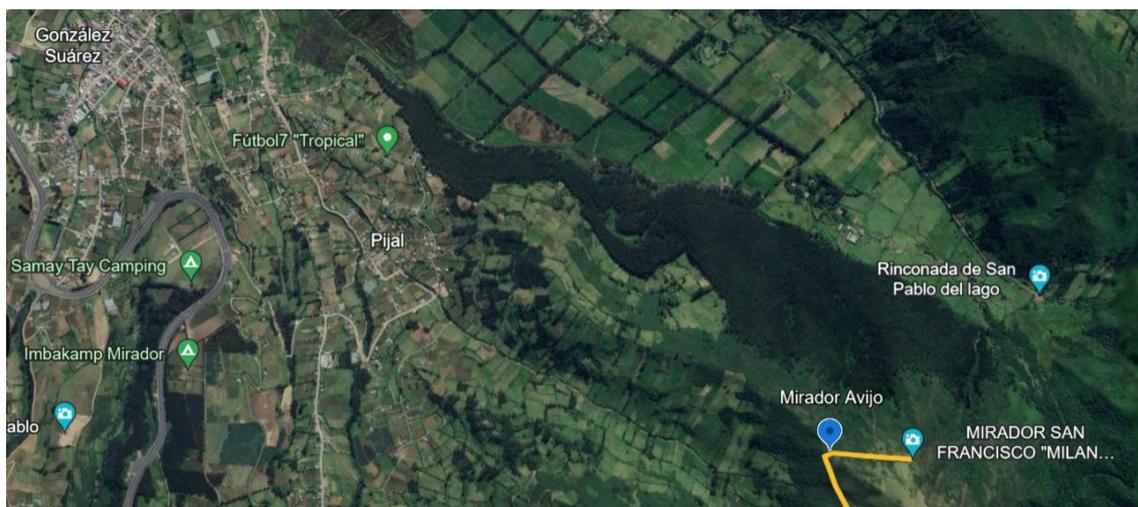
3.1. Materiales y métodos

El estudio para el aprovechamiento de la energía eólica en el sector del cerro de Avijo, para esto se hace uso del sistema de recolección de datos basados en microprocesadores basados en Arduino, la medición de datos que son necesarios para el cálculo de parámetros que intervienen en el potencial eólico como la velocidad del viento, dirección y temperatura, con el fin de recopilar la información necesaria para su posterior análisis, se busca aplicar la metodología de observación de campo, una vez instalados los datos van a ser almacenados en una memoria física.

3.2. Descripción del Lugar de estudio

El lugar de estudio se encuentra ubicada en las “Cabañas ecológicas del cerro de Avijo” el cual pertenece a la comunidad de Pijal, la misma que se encuentra en la parroquia rural de Gonzales Suarez perteneciente al cantón Otavalo dentro de la provincia de Imbabura, la zona de ubicación de la zona de estudio podemos observar dentro de la figura 4 que se presenta a continuación.

FIGURA 4 Cabañas ecológicas del cerro de Avijo



En la figura 4 podemos observar el lugar de estudio visto desde Google maps, la zona varía en la temperatura desde los 6°C hasta los 19 °C, su ubicación se encuentra 0.164756, -78.175469, la distancia se encuentra a aproximadamente de 9 km desde la panamericana E35 del sector del redondel de cajas límite provincial entre Imbabura y Pichincha.

3.3. Metodología

FIGURA 5 metodología a seguir



En la figura 8 podemos ver la metodología para seguir con la investigación, como primer punto se hizo la descripción del lugar de estudio y el lugar donde se va a ubicar los instrumentos para la adquisición de los datos que influyen en la proyección de la energía eólica, luego se procede a la instalación de los instrumentos y la forma de almacenar los datos para su posterior análisis. Una vez que se obtienen los datos se procede al análisis, para esta etapa del proyecto se busca hacer uso de la regla de Sturges, esta regla permite obtener intervalos adecuados con referencia a los datos que se tienen almacenados, para la determinación de la carga se procede a realizar un compendio de los elementos que van a consumir la energía tomando en consideración los elementos con los que cuenta la cabaña, la determinación del potencial eólico se hace aplicando la distribución de Weibull y realizar el análisis del Aerogenerador capaz de cumplir con la demanda de carga, una vez obtenida la información se procede a obtener la producción de la energía y posteriormente realizar el análisis de factibilidad del proyecto haciendo uso de la tasa interna de retorno (TIR) y



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



el valor actúan neto (VAN) que son indicadores que permiten obtener la información de la factibilidad económica para la instalación a futuro.

3.4. Técnicas e instrumentos.

- **Muestreo**

Lo datos por obtener para el estudio se lo realiza en la zona del cerro de Avijo, estos datos se recaban en tiempos secuenciales de cada mes, con el fin de ver el cambio en la variable de la velocidad del viento.

Las condiciones del lugar y los espacios adecuados para la instalación del aerogenerador, además de las vías de acceso hacia las cabañas ecológicas.

Además de los lugares de instalación para el aerogenerador escogido

3.5. Matriz de operacionalización de variables.

- **Equipos de adquisición de datos basado en Arduino**

Los equipos que se usan deben estar conectados a una fuente de alimentación, debido a la distancia a la red de distribución eléctrica se encuentra apartado, se hace uso de baterías con las que se puede brindar de energía a los dispositivos usados para la adquisición de los datos.

Los dispositivos van a estar conectados a una placa basada en Arduino con el cual se puede adquirir los datos del medio ambiente y almacenarlos en una memoria extraíble para posterior procesarlos en un libro de Excel.

Arduino

Se hace uso del Arduino uno el cual tiene las características electrónicas con las cuales podemos aprovechar sus entradas analógicas como digitales con el fin de obtener los datos necesarios del medio donde se va a realizar la medición para posteriormente analizar y obtener la característica de generación del potencial eólico de la zona.

FIGURA 6 Diagrama de Arduino Uno

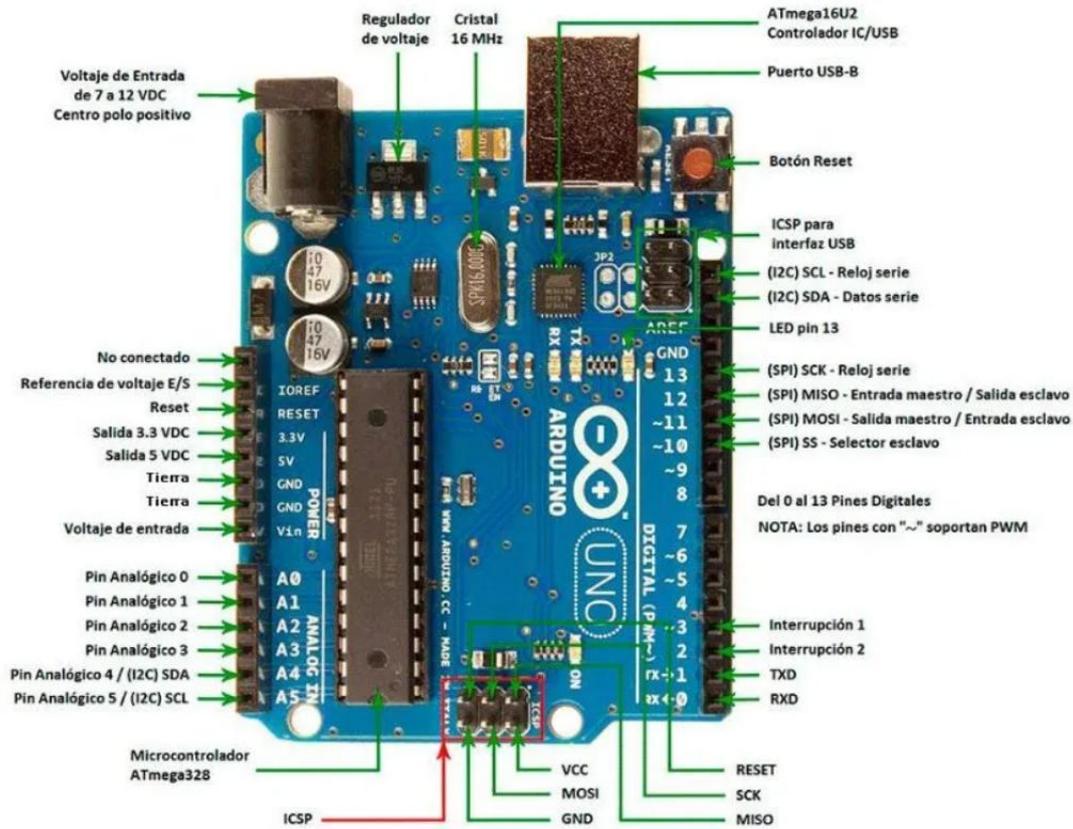


TABLA 9 Especificaciones de Arduino uno

Especificaciones técnicas Arduino uno R3
• Microcontrolador: ATmega328P.
• Velocidad de reloj: 16 MHz.
• Voltaje de trabajo: 5V.
• Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
• Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
• 1 puerto serie por hardware.

- Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom

Sensor de campo magnético o efecto hall a 3114

Este módulo sensor hace uso del interruptor Hall A3144E, diseñado para el uso donde existe de campo magnético. Útil para la detección de la posición entre otras aplicaciones. ofrece salidas analógicas AO, así como la salida digital DO, al pasar por un comparador de voltaje, el sensor Hall envía un voltaje de bajo nivel al detectar un campo magnético[32].

Con este sensor se busca realizar un conteo de las vueltas que se dan las paletas del anemómetro en un determinado tiempo, contado las revoluciones por tiempo podemos transformar las en velocidad lineal.

FIGURA 7 sensor magnético de efecto Hall

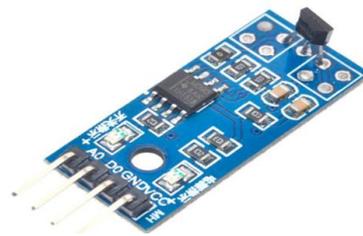


TABLA 10 Características de sensor magnético

Características de Sensor Magnéticos De Efecto Hall
VCC: fuente de alimentación positiva, 3,3 V a 5 V
GND: fuente de alimentación negativa
DO: salida de señal digital
AO: salida de señal analógica
Orificios para tornillos de montaje de 3 mm para una fácil instalación
Indicador de encendido

Indicador de salida del comparador
Chip: comparador de voltaje LM393, sensor Hall A3144
Voltaje de trabajo: 3 VDC a 5.5 VDC
Capacidad de salida del comparador: 16 mA
Tamaño de PCB: 32 x 14 mm

Veleta de viento

Enconder Rotativo Ky-040

El Módulo KY-040 es un enconder rotativo es un elemento que indica mediante posiciones codificadas su posición. Es un enconder rotativo que permite contar con 36 posiciones al dar una vuelta completa, tiene la ventaja de comparar los pulsos de sus entradas CLK y DT, podemos dar vueltas hacia ambos lados sin límite. Cuando pasamos por cada paso se nota un pequeño resalte que indica que se ha llegado a la nueva posición.

Este enconder permite que los cambios en la dirección del viento sean notables, es posibles gracias a sus pines CLK o reloj y DT que son de datos estos dos trabajan juntos por lo que permite hacer una comparación de si está girando a la izquierda o derecha gracias a esta comparación podemos ver los cambios en las posiciones y asignarles rangos para cada posición de la dirección del viento.

FIGURA 8 enconder KY- 040 usado para la veleta de viento



Sensor DHT 11

Este módulo sensor utiliza DHT11 como componente sensible y tiene un condensador de derivación y una resistencia pull-up a bordo. El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad de salida digital precalibrado. El esquema de cableado de un solo cable hace

que sea fácil de integrar a otras aplicaciones. El protocolo de comunicación simple reduce en gran medida el esfuerzo de programación requerido.

FIGURA 9 sensor de temperatura y humedad dht11



Tarjeta microSD lector módulo SPI

El módulo (MicroSD Card Adapter) es un módulo lector de tarjetas Micro SD, el sistema del microcontrolador puede completar la lectura y escritura de archivos a través del sistema de archivos y el controlador de interfaz SPI. Los usuarios de Arduino pueden usar el IDE de Arduino que viene con la biblioteca de tarjetas SD para completar la inicialización de la tarjeta y leer y escribir [33].

FIGURA 10 Tarjeta microSD lector módulo SPI



Batería para alimentación

Para la alimentación se hace uso de un banco de baterías recargables, este dispositivo va a brindar de energía al Arduino y sus sensores, con este dispositivo se podrá almacenar la energía necesaria para que la placa de Arduino y los sensores puedan trabajar y almacenar los datos, durante el tiempo de 4 días hasta extraer los datos y cambiara la fuente de energía.

FIGURA 11 Bateria de alimentación del anemómetro



TABLA 11 Características de la batería

Características	
Tipo de conector	Micro-USB
Incluye cable	
Tipo de cargador	Portátil
Tipo de velocidad de carga	Rápida
Capacidad de la batería	10000 mAh
Voltaje de salida	5V
Salidas	2 salidas USB

Al momento de la obtención de datos el cálculo de la energía para la alimentación de los sensores se hace uso de un aproximado con el +- 2% del consumo para cada sensor, con un banco de baterías de 10000 mAh se tiende que la batería dura aproximadamente 4 días en los que es posible la recopilación de los datos y llevados para almacenamiento y posteriormente para el análisis.

Tabla 12 Consumo de energía del sistema electrónico para adquisición de datos

Componente	Consumo Aproximado (mA)
Arduino Uno	50 mA
Sensor Hall	6 mA
Encoder Rotativo	10 mA
DHT11	1.5 mA
Módulo SD	50 mA

Con el dato de almacenamiento del banco de baterías y el consumo energético de la electrónica se establece que el rango de consumo puede durar durante aproximadamente 100 horas.

Anemómetro UNIT ut36BT

Para la obtención de los datos de la velocidad del viento se hace uso del anemómetro ut36bt que brinda la posibilidad de medición del viento en m/s km/h, este permite almacenar los datos y exportarlos a través de conexión inalámbrica como es bluetooth, además de convertir en archivos con formato texto y archivos de Microsoft Excel al momento de exportar. La ventaja de este aparato es robusta y permite medir la velocidad de viento y la temperatura con lo cual podemos comparar y calibrar los valores de los sensores de la estación hecha en Arduino.

FIGURA 12 Anemómetro y medidor de temperatura



Especificaciones:

- Rango: 0~30m/s $\pm(5\%rdg+0.5)$
- Resolución de la velocidad: 0,1 m/s
- Temperatura: -10~50 °C ± 2 °C
- Resolución de temperatura: 0,1 °C
- MAX/AVG, Data hold, LCD backlight
- Batería de 1,5 V (R03) x 3



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



-Pantalla: 32 mm x 26 mm

- **Equipo de adquisición de datos**

El equipo usado para la adquisición de datos, se lo realiza a haciendo uso de la plataforma de Arduino, se hace uso de microprocesador de Arduino uno junto con los sensores de efecto hall, enconder rotativo y dht22, que permiten recopilar los datos, estos datos se guardan en una tarjeta microSD dentro de un archivo tipo CSV, y posteriormente procesarlos, a través de métodos lineales e interpolación y extrapolación haciendo uso de hojas cálculo de Excel.

- **Tiempo de adquisición de datos**

Dentro de la programación se establece que el sensor almacene los datos en intervalos de 10 segundos, los guarde en un archivo con formato CSV dentro de una tarjeta microSD. El tiempo de adquisición de datos será durante 3 meses que corresponden al 8vo, 9no y 10mo mes del año 2024. Una vez recopilado los datos se procede a realizar el análisis de forma mensual e interpolar las mediciones y obtener rango de la velocidad del viento en la zona de estudio. La extracción de datos para ser llevado al análisis será de cada 4 días esto es debido que se debe tener una vigilancia de los aparatos que se instalan en el lugar de estudio.

- **Medida en que expresan los datos**

Las variables que intervienen para el estudio del potencial eólico son la velocidad, dirección del viento, y la temperatura. en cuanto a la velocidad del viento la medida con la que se trabaja son metros por segundo (m/s), la dirección del viento se establece a partir de los puntos cardinales, y la temperatura esta dado en valores de grados Celsius °C.

- **Frecuencia de observación o medición**

La frecuencia con la que se van a registrar los datos va a hacer cada 30 segundos, estos datos se almacenan dentro de una tarjeta micro sd, se extraerán los datos cada 4 días para



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



su posterior análisis, esto se realizara durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2024, con estos datos se procede a la interpolación y posterior al cálculo del potencial eólico.

3.6. Determinación del consumo eléctrico de las cabañas.

Para el cálculo de la demanda energética eléctrica de las cabañas se hace uso de las siguientes ecuaciones matemáticas, las cuales permiten el cálculo de la potencia mínima, la demanda de energía mensual, y el promedio del consumo de energía.

La determinación del potencial se lo debe realizar a través del consumo de los aparatos eléctricos conectados, el consumo de cada uno de ellos, el tiempo de conexión o uso de cada aparato, cálculo de mensual para poder calcular el costo beneficio, este cálculo podemos verlo en la tabla 10.

TABLA 13 Consumo energético día de las cabañas

Dispositivo	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso (h/día)	Consumo diario (Wh/día)
Smart TV (40 pulgadas)	4	70	5	1400
Bombillas LED (15 W)	8	15	6	720
Cargadores de teléfono	4	5	3	60
Computadora	1	200	5	1000
Antena de radioenlace	1	30	24	720
Cámaras IP	3	10	24	720
Total	-	-	-	4620

Una vez obtenido el consumo diario se procede al cálculo del consumo mensual, lo que significa que es la demanda de energía mensual para las cabañas que se establece en la siguiente tabla 11.

TABLA 14 cálculo del consumo mensual

Dispositivo	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso (h/día)	Consumo diario (Wh/día)	Consumo mensual (kWh/mes)
Smart TV (40 pulgadas)	4	70	5	1400	42
Bombillas LED (15 W)	8	15	6	720	21,6
Cargadores de teléfono	4	5	3	60	1,8
Computadora	1	200	5	1000	30
Antena de radioenlace	1	30	24	720	21,6
Cámaras IP	3	10	24	720	21,6
Total	-	330	-	4620	138,6

3.7. Ecuaciones matemáticas para la medición de los parámetros eólicos, velocidad, dirección y densidad del viento

A continuación, se da a conocer los parámetros intervienen para el cálculo del potencial eólico de la zona en estudio.

Velocidad del viento

La velocidad se calcula a partir de las revoluciones que se den en un determinado tiempo, para el desarrollo del proyecto se cuenta las revoluciones cada 5 segundos y se pasa a m/s.

Ecuación 1 Velocidad del viento

$$V = 2\pi r * \# \text{ revoluciones} \quad (\text{Ec.1})$$

V: velocidad del aire en m/s

Π: símbolo pi (valor de 3.1416)

R: radio en metros (m)

revoluciones: el número de revoluciones en un determinado tiempo



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Densidad del viento

La ecuación para la densidad del viento

Ecuación 2 Densidad del viento

$$\rho = \frac{p * M_a}{Z * R * T} * \left(1 - X_V \left(1 - \frac{M_a}{M_B}\right)\right) \quad (\text{Ec.2})$$

En la cual:

ρ : densidad del aire en Kg/m³

p: presión atmosférica

M_a: masa molar del aire

Z: Factor dimensional

T: temperatura

Adaptado de:[34]

Velocidad que tiene el viento a una altura del suelo

La determinación de la velocidad del viento dependiendo de la altura, haciendo uso de la velocidad de referencia a una altura en metros

Ecuación 3 Velocidad de la ecuación a una altura del suelo

$$V_z = V * \left(\frac{Z}{Z_{ref}}\right)^a \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_z: La velocidad del viento a estimarse

V; Velocidad del viento que se toma como referencia

Z: Altura sobre el suelo

Z_{ref}: Altura de referencia del viento

a: factor de rugosidad.



Se debe considerar que el factor de rugosidad que va entre los 0.0 - 0.40 dependiendo el tipo de rugosidad del terreno: 0.13 agua, grama 0.14 a 0.16, cultivos y arbustos 0.20, bosques 0.25 y zonas urbanas 0.40. se debe tener en consideración el lugar de estudio para poder hacer uso del factor de rugosidad.[35]

Energía cinética proporcionada por el viento

Como es de conocimiento el movimiento produce energía por ende el movimiento de la masa de aire provoca el viento y por consecuencia energía cinética la cual se calcula con la ecuación.

Ecuación 4 Energía cinética

$$Ec = \frac{1}{2} m * V^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Ec: energía cinética

m: masa

V²: Velocidad del viento

Pero como la energía que contiene el viento no solo depende de la velocidad del viento, sino que también de su densidad. Al hacer uso de las ecuaciones de velocidad como de la densidad para el aire se llega a obtener la siguiente ecuación

Ecuación 5 potencia del viento

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad [\text{w}] \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde

ρ : la densidad del aire en Kg/m³

A: el área del rotor del generador en m²

V: velocidad del viento en m/s

Adaptado de [36]

3.8. Ecuaciones matemáticas que intervienen en el cálculo del potencial eólico, interpolación y extrapolación lineal, distribución de Weibull

- **La interpolación lineal**

La interpolación lineal supone que entre dos puntos conocidos (X_1, Y_1) y (X_2, Y_2) , el cambio de Y con respecto a X es constante, formando una línea recta. Esto significa que el valor de Y para cualquier valor intermedio X puede ser calculado proporcionalmente.[37]

$$P_{inter} = P_1 + \frac{(V_{viento} - V_1)(P_2 - P_1)}{V_2 - V_1} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

P_{inter} : potencia de salida estimada

V_{viento} : velocidad de viento para la cual se estima la potencia

P_1 y P_2 : Potencias de salidas correspondiente

V_1 y V_2 : Velocidades del viento respectivamente a las potencias

- **Distribución de Weibull**

La función de distribución de Weibull, expresada en la Ecuación 7, basa su éxito en el ajuste de dos parámetros, los cuales pueden entregar una gran flexibilidad en la función de distribución de los valores medidos con distinto comportamiento.[37]

$$C = \frac{V_{prom}}{e^{\gamma(1+\frac{1}{k})}} \quad (\text{Ec. 7})$$



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Donde:

C: constante de escal

V_{prom} : Velocidad del viento promedio en m/s

γ : Gamma

K: constante de forma

e: constante de Euler

3.9. Ecuaciones matemáticas para la determinación del consumo eléctrico

Potencia mínima

Se debe tener en consideración que la potencia que se necesita para la alimentación de eléctrica está sujeta a un factor de simultaneidad, debido a que no todos los aparatos van a estar conectados al mismo tiempo. Según [38] el factor de simultaneidad es de 0.80 esto varía según el tipo de instalación.

$$P_{min} = F(P_{inst}) \text{ [w]} \quad (\text{Ec. 8})$$

P_{min} : potencia mínima

F: Factor de simultaneidad

P_{inst} : Potencia instalada

Consumo mensual

El consumo mensual esta dado por el producto del consumo de la potencia instalada por las horas de consumo y los días del mes que se consume. Para poder tener la energía de consumo en kilovatios hora en el mes se debe hacer una división por mil.



$$C_{mes} = \frac{P_{inst} * h * \#d}{1000} \quad [\text{KWh-mes.}] \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

C_{mes} : Consumo mensual

P_{inst} : Potencia instalada

h: horas diarias de consumo

#d: días del mes

La división por mil se da para obtener el valor en Kwh-mes.

3.10. Ecuaciones para la selección del aerogenerador, baterías y protección del sistema off grid.

Selección del aerogenerador

Para la selección del aerogenerador se debe tener que evaluar los parámetros de potencia como son la potencia mecánica, eléctrica y la potencia del generador. Estos parámetros se dan a conocer a continuación.

Potencia mecánica

Para establecer la potencia mecánica máxima que un aerogenerador aprovecha a través de sus aspas, se puede establecer haciendo uso de la ley de Betz que se describe en la ecuación[38].

$$P_c = C_p(P_e) = P_m \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

P_c : Potencia que se capta

C_p : porcentaje que el aerogenerador aprovecha

P_e : Potencia Eólica



P_m : Potencia Mecánica

Teóricamente un aerogenerador puede aprovechar el 59.3% de la energética cinética del viento y transformarla en energía rotacional, es decir que es lo máximo que se puede aprovechar de la energía eólica[38].

Potencia eléctrica

Para la conversión de potencia mecánica a eléctrica se hace uso de la siguiente ecuación el cual permite la conversión de la potencia generada por el viento y se transforma en potencia eléctrica[38].

$$P_e = \eta_s (C_p)(P) \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

P_e : Potencia eléctrica

η_s : eficiencia del sistema eléctrico

C_p : Coeficiente de potencia

P : Potencia eólica

En la ecuación anterior destaca por la importancia del conocimiento de la eficiencia del aerogenerador para la transformación de una energía mecánica rotacional a energía eléctrica.

Potencia del aerogenerador

Para la selección del aerogenerador se debe obtener los datos de la demanda de energía diaria o el consumo de energía diaria, además de las horas de presencia del viento que son las variables que intervienen para el cálculo en la siguiente ecuación.

$$P_{\text{aerogenerador}} = \frac{\text{Consumo diario } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}}\right)}{\text{Horas al día de viento}} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:



$P_{\text{aerogenerador}}$: Potencia del aerogenerador

Consumo diario: Wh/día

Horas al día de viento: H/día

Potencia instalada

Como el aerogenerador no proporciona la potencia nominal siempre se debe considerar el factor de capacidad de generación del aerogenerador[39].

$$P_{\text{instalada}} = \frac{P_{\text{requerida}}}{CF} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

$P_{\text{requerida}}$:

CF: factor de capacidad

El factor de capacidad para generadores eólicos de baja potencia es de 0.3

Capacidad de la batería

Para calcular la capacidad de almacenamiento se debe hacer en base al consumo energético diario, la ecuación siguiente Ec.15 permite el cálculo de la capacidad que debe tener el almacenamiento para compensar la carga energética[40].

$$\text{Capacidad}_{Ah} = \frac{\text{energía requerida}}{\text{Voltaje de la batería} * DOD} \quad \text{Ec. 15}$$

DOD: profundidad de descarga que es para baterías de 80% para LiFePO4 y 50% para baterías de plomo-ácido.

Numero de baterías

Con la siguiente ecuación podemos encontrar el número de baterías que se necesita para compensar el almacenamiento para la energía requerida de las cabañas.

$$\text{Numero baterias} = \frac{\text{energia requerida}}{\text{Voltaje de la bateria} * \text{Ah} * \text{DOD}}$$

Selección de la protección para la red

Para la protección de la red se tiene en cuenta la potencia que el inversor, resistencia del conductor y así realizar el dimensionamiento de la protección, a través del cálculo de la corriente nominal, corriente de corto circuito.

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{inver}}}{V_{\text{outinver}}} \quad (\text{Ec.16})$$

$$I_{cc} = \frac{0.8 \times V_{\text{outinver}}}{R_{\text{cond}}} \quad (\text{Ec.17})$$

$$R_{\text{cond}} = \frac{\rho L}{s} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

V_{outinver} : Voltaje de salida del inversor

P_{inver} : Potencia del inversor

I_{cc} : Corriente de corto circuito

R_{cond} : Resistencia del conductor

L : Distancia (m)

ρ : Resistividad del cobre

Cálculo del conductor

$$S = \frac{P * L * I}{\Delta V} \quad \text{Ec. 19}$$

S : sección del conductor



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



P: potencia en vatios

L: longitud del cable

I: Intensidad (A)

ΔV : caída de tensión en voltios

$$\Delta V = \frac{V * L_a}{100} \quad \text{Ec.20}$$

V: voltaje nominal

L_a : Límite máximo admisible en %

3.11. Configuración de los equipos de adquisición de datos.

El equipo para la recolección de datos está configurado para detectar el movimiento de la masa de aire la dirección y la temperatura, la velocidad del viento se calcula haciendo uso de la Ec.1; para la dirección del viento se hace uso del enconder rotativo (figura 8) el cual se explica su funcionamiento; en cuanto a la temperatura se hace uso del sensor dht22, estos sensores se colocan en una base sólida de PVC y se fija a un poste de madera a una altura de 2 metros en el lugar de estudio.

FIGURA 13 Diagrama de conexión de estación meteorológica

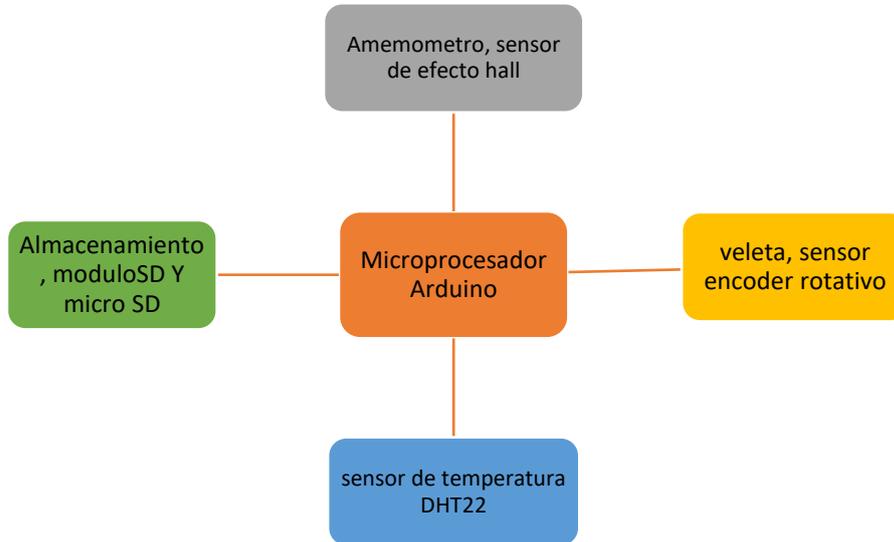
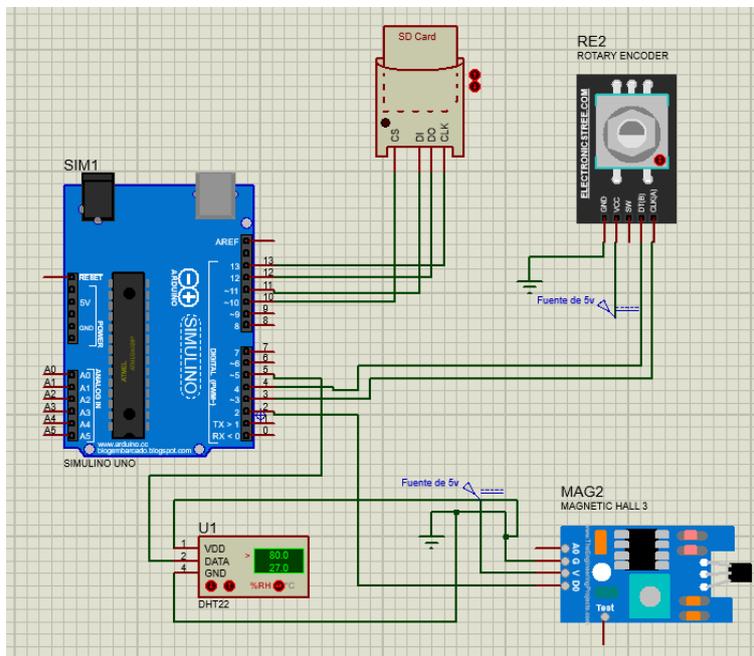


FIGURA 14 Diagrama de conexión



Para el almacenamiento de los datos se usa de un módulo micro sd y una tarjeta sd donde se almacenan los datos para su posterior tratamiento. Estos elementos sensibles a la humedad se los aísla dentro de una caja plástica.

FIGURA 15 estación de recolección de datos



- 1) Anemómetro
- 2) sensor de temperatura DHT22
- 3) Veleta de dirección del viento
- 4) Cable de recopilación y almacenamiento de los datos

Las señales que se reciben de los sensores son procesados por el Arduino y almacenados dentro una tarjeta de almacenamiento microSD a través del módulo.



FIGURA 16 Instalación de la estación meteorológica

La configuración para la detección de la velocidad del viento se hace a través de una comparación entre el anemómetro UT363 bt (figura 10).

Los elementos del circuito están protegidos por medio del material protector ante factores que podrían dañar el circuito de procesamiento y almacenamiento de datos, para su posterior recolección y análisis.

3.12. Determinación del potencial eólico

La determinación del potencial eólico se lo realiza a través de una estación meteorológica a dos metros sobre el nivel del suelo, para la velocidad del viento se ocupa un anemómetro, con esto se busca realizar la interpolación de los datos. Los datos se guardan en formato CSV para su posterior exportación a un archivo de Excel.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



FIGURA 17 recopilación de datos en un libro de Excel.

	Direccion	Velocidad m/s	Temperatura
2	NORTE	1.0	8.32
3	NORTE	1.15	8.01
4	NORTE	1.31	7.72
5	NORTE	1.56	7.38
6	NORTE	1.79	7.08
7	NORTE	2.02	6.94
8	NORTE	2.52	7.49
9	NORTE	4.11	8.98
10	NORTE	5.34	10.27
11	NORTE	6.32	11.9
12	NORTE	6.67	13.19
13	NORTE	6.46	13.76
14	NORTE	5.92	13.66
15	NORTE	5.31	13.38
16	NORTE	4.91	13.18
17	NORTE	4.64	13.09
18	NORTE	4.42	12.61
19	NORTE	3.35	11.15
20	NORTE	2.36	9.57
21	NORTE	2.5	9.02
22	NORTE	2.64	8.97
23	NORTE	2.65	8.98
24	NORTE	2.74	9.0
25	NORTE	2.84	8.82
26	NORTE	2.67	8.44

FIGURA 18 Datos recopilados

CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Procedimiento y análisis de datos.

Con los datos obtenidos durante el trimestre se procede al cálculo de parámetros que permitirán el análisis y la toma de decisiones para la elección del aerogenerador. Los datos que se muestran en la tabla 12, muestra la información recopilada a través de la estación meteorológica.

La información esta desglosada por periodos en los meses de recopilación de los datos.

TABLA 15 Datos del viento medidos durante un trimestre

Parámetros	agosto	septiembre	Octubre
Velocidad promedio m/s	4,92114427	4,37351051	2,99271731
Numero de datos	11160	10799	11136
Valor máximo	13,99	12,16	11,3
Valor mínimo	0,13	0,05	0,04
Rango	13,86	12,11	11,26
Intervalos	14,4463405	14,3989001	14,4432345
amplitud	0,95941253	0,84103646	0,77960377
K Weibull	1,73821294	1,71095891	1,58546799
C de Weibull	4,59448394	4,37710758	3,83755101

En la tabla 12 podemos observar que la velocidad promedio del viento, se da en 4.9 m/s para el mes de agosto, así como para el mes de septiembre es 4.37 m/s, mientras que para el mes de octubre se en 2.99 m/s. con estos datos podemos determinar rango de velocidades más frecuentes en el lugar de estudio.

Análisis a diferentes alturas

Para el análisis de los datos debemos considerar la velocidad promedio y las contantes de Weibull, en la tabla 13 brinda la información para diferentes alturas como son 3,6,10

y 15 metros, cuando “K” esta en el rango de 2 y 3, de la misma manera cuando “C” está dentro del rango de 4 y 7 m/s, las condiciones son favorables para un proyecto eólico a pequeña escala.

TABLA 16 cálculos de los parámetros eólicos a diferentes alturas

	3 m	6 m	10 m	15 m
Numero de datos	33080,00	33080,00	33080,00	33080,00
Vmoda	1,42	2,82	3,02	3,20
Vmedia	3,44	5,15	5,53	5,86
Maximo	12,16	15,91	17,09	18,09
Mínimo	0,04	0,04	0,05	0,05
Rango	12,12	15,87	17,04	18,04
Intervalo	16,01	16,01	16,01	16,01
Amplitud	0,76	0,99	1,06	1,13
Forma (k)	2,55	2,48	2,37	2,29
Escala (c)	3,84	5,81	6,24	6,60

Se ha realizado el cálculo para diferentes alturas a través de los datos recopilados durante el trimestre, dando como resultado que la altura optima es a 6 metros, como podemos observar en la tabla 13 los valores para las constantes de Weibull como son C que tiene relación con la velocidad promedio es de 5.81m/s y K corresponde a la variabilidad de los vientos que tiene un valor de 2.48. estos valores son similares para alturas más elevadas por ende la altura a 6 es el más adecuado. Además de la potencia del viento para este lugar esta alrededor de 87 w/m². Estos parámetros permiten realizar satisfacer la demanda.

Dirección del viento

La dirección más frecuente proveniente del viento es desde el norte para el mes de agosto 7069 datos, mientras que para septiembre los datos más frecuentes son noroeste 5508 y este oeste 3139, mientras que para el mes de octubre noroeste 6886 y oeste 2236. La dirección más frecuente desde donde sopla el viento es noroeste y norte.

FIGURA 19 Dirección de viento mes de agosto



La figura 20 muestra el porcentaje de los datos de la dirección del viento, dando como dirección más frecuente al noreste desde norte con un 64 % y el noreste con un 36 % para el mes de agosto.

FIGURA 20 Dirección de viento mes de septiembre



La figura 21 muestra el porcentaje de la dirección del viento en el mes de septiembre, dando como resultado un 62 % para el noroeste como dirección más frecuente y 36% la dirección del oeste

FIGURA 21 Dirección de viento mes de octubre



La figura 22 muestra que la dirección más frecuente que se da en el mes de octubre dando como resultado que el noreste con un 75% y el oeste con un 25%.

La dirección predominante del viento se orienta mayoritariamente hacia el noroeste, lo que indica que esta es la trayectoria más frecuente en las condiciones climáticas analizadas dentro del punto de estudio.

4.2. Parámetros para selección del generador eólico

Con la información que se obtuvo al realizar el análisis de los datos, tanto de los parámetros eólicos y de la carga del lugar de estudio, permiten realizar el análisis de las características para la seleccionar el aerogenerador que abastezca el consumo energético.

TABLA 17 Parámetros de la velocidad más frecuente

Parámetro	Altura a 6 m
Vmedia	5,15 m/s
Forma (k)	2,48
Escala (c)	5,81m/s

Una vez realizado la distribución de Weibull para los datos recolectados, se obtuvo como la velocidad de viento más frecuente 5.81 m/s. con una variabilidad de 2.48 que corresponde a una velocidad de viento moderado, dentro de estos parámetros del viento

se deben establecer las características del aerogenerador, como puntos adecuados para el arranque y punto de bloqueo. La potencia por requerir para abastecer la demanda de las cabañas establece que es necesario de un aerogenerador de bajas velocidades que es ideal para este lugar.

TABLA 18 Comparación entre la energía de consumo y la de generación del aerogenerador

Comparación entre la energía de consumo y de generación por el aerogenerador	
Carga total	4620 Wh/ día
Consumo promedio	200 W
Forma (k)	2,48
Escala (c)	5,81m/s
Potencia de instalación	1KW

El consumo promedio es el valor que el aerogenerador debe estar generando continuamente para poder satisfacer la demanda de energía dentro de las cabañas.

La potencia de instalación es la relación entre el consumo promedio y el factor de capacidad del aerogenerador CF que es de 0.3.

4.3. Sistema aislado de la red de distribución eléctrica

El proyecto consiste en un sistema que brinde de energía en baja potencia, el sistema es de conexión aislada o fuera de la red de distribución eléctrica, para ello se debe tener en cuenta los elementos que se necesitan para el diseño de un sistema off grid como son el aerogenerador, controlador de carga, baterías, inversores y el conductor.

Selección del generador eólico

La selección del generador eólico se realiza en base a los datos obtenidos en las tablas 14 y 15, para ello se realiza una investigación de diferentes tecnologías que brinden las características de generación que satisfagan la demanda de energía, la tabla 16 siguiente brinda información acerca de las características de estos aerogeneradores.

TABLA 19 Características de aerogeneradores en el mercado

Marca	Potencia Nominal	V de Arranque	V Nominal	Diámetro del Rotor	Peso	Tensión nominal	Altura de instalación	Precio estimado
ZF-M-1.5KW	1500KW	2,5 m/s	11m/s	2,8 m	48 kg	DC48V	6 m	800
JXHA-1500W-2	1500W	3m/s	9m/s	2,8m/s	115kg	DC24V-DC220v	6 -9m	800
ZF-M-1KW	1000 W	2.5 m/s	12.5 m/s	2.4 m	31Kg	48v	6m	900
SW-2000L2	1000W	2,5m/s	11m/s	3,2	51Kg	48V/96V /120V/220V	6m	845

Al realizar una investigación de los diferentes generadores eólicos de baja potencia y realizar una comparativa de sus características, se escogió el ZF-M-1KW, debido a que las características están en contraste a las características físicas del lugar de estudio[41].



FIGURA 22 Aerogenerador ZF-M-1KW



Características del aerogenerador Tianjin ZF-M-1KW

Con las características establecidas como la velocidad calculada con la distribución de Weibull y la demanda de energía, se ha optado por el aerogenerador ZF-M-1KW. Las características se dan a conocer en la siguiente tabla 17.

TABLA 20 Características del aerogenerador ZF-M-1KW

Modelo	ZF-M-1KW
Potencia Nominal (W)	1000
Potencia Máxima (W)	1200
Voltaje Nominal (V)	48V
Velocidad de Arranque (m/s)	2.5
Velocidad Nominal (m/s)	12.5
Velocidad Segura (m/s)	40
Diámetro del Rotor (m)	2.4
Altura de la Pala (m)	1.05
Número de Palas	3
Material de las Palas	Fibra de Nylon
Material del Cuerpo	Aleación de Aluminio
Generador	Generador de imán permanente de CA trifásico
Sistema de Control	Freno electromagnético / Mecanismo de regulación de orientación del rotor eólico
Método de Orientación	Ajuste automático del ángulo del viento
Método de Lubricación	Lubricación automática
Formato de la Torre	Torre independiente con cable
Temperatura de Operación	-40°C ~ 80°C

Potencia del aerogenerador

Como la potencia seleccionada para el generador eólico es de 1000w, el factor de capacidad de generación es de 0.3. La velocidad promedio frecuente con menos variabilidad es de 5.81m/s, se puede establecer que la potencia que el aerogenerador va a producir es de en base a la ecuación 14 descrita en el anterior capítulo.

$$P_{\text{aerogenerador}} = 1000 * 0.35$$

$$P_{\text{aerogenerador}} = 350 \text{w}$$

La potencia de 350w es el promedio de generación de forma continua por el aerogenerador en condiciones normales del viento de la zona en estudio.

Curva de generación de vs velocidad del aerogenerador

con los datos de velocidad de arranque la velocidad nominal se establece la tabla

TABLA 21 comportamiento del aerogenerador

Velocidad del Viento (m/s)	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	
Potencia Generada (W)	0	50	100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	850	900	950	970	990	995	998	998	1000

Una vez realizado se procede a realizar la extrapolación y se obtiene la siguiente grafica donde podemos ver el comportamiento del aerogenerador escogido.

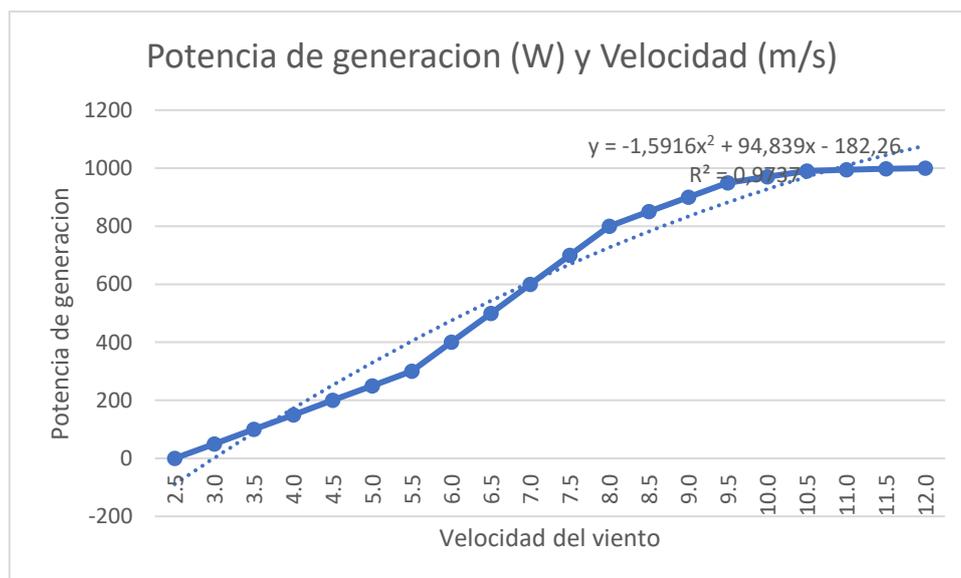


Figura 23 Curva de generación del aerogenerador

Como podemos observar en la gráfica la velocidad promedio más frecuente encontrado a través de Weibull de 5.81 m/s, permite una generación de potencia alrededor de 400 w, lo que permite abastecer el consumo de la carga del lugar.

Controlador de carga

El controlador de carga que se elige es el Controlador de Carga 3000W MPPT 12V 24V 48V Turbina Eólica Generador Regulador Boost [31], este es ideal para la potencia de 1KW del aerogenerador.



Figura 24 controlador de carga

Este dispositivo brinda la protección contra sobrecargas, cortocircuito, sobrevoltaje. Su construcción es en base aleación de aluminio, el cual permite una disipación de calor proporcionando una durabilidad en el tiempo de trabajo.

TABLA 22 características controlador de carga

Marca	Aisinilalao
Modo de carga	MPPT (Seguimiento del punto de máxima potencia)
Tipo actual	corriente continua
Aporte	CA trifásica
Material	Aluminio
Protección	Protección contra sobretensión de batería, limitación de corriente del aerogenerador, freno del aerogenerador, protección de velocidad
Drenaje de energía en estado de reposo	≤15 mA
Configuración del sistema	Fuera de la red
Tipo	Controlador de carga
Voltaje	12/24/48 V
Garantía	5 años



Impermeable	IP67
Potencia	100W-3000W
Temperatura de trabajo	-35°C ~ 70°C
Tamaño	95 x 65x 20mm

Se elige este dispositivo debido a que brinda las características para el control de la potencia generada por el aerogenerador, además que trabaja con voltajes adecuados para el banco de baterías y proporciona protección ante sobretensión.

Banco de baterías.

El tiempo de autonomía que se busca es de 1 día, el consumo de la energía por las cargas de las cabañas es de 4.6 Wh/día calculado en la tabla 10, el voltaje de las baterías va a hacer de 48 V.

DOD: profundidad de descarga que es para baterías de 80% para LiFePO4 y 50% para baterías de plomo-ácido.

Las baterías Li-ion suelen cargarse al 80% en 1–2 horas considerado como fase rápida y el 20% restante más lento (para evitar estrés térmico).

Para realizar el cálculo de las baterías se hace uso de la ecuación Ec.15

$$Capacidad_{Ah} = \frac{energía\ requerida}{Voltaje\ de\ la\ batería * DOD}$$

$$Capacidad_{Ah} = \frac{4600}{48\ V * 0.8} \approx 120Ah$$

Si realizamos el mismo calculo para un batería de plomo acido obtenemos como resultado que se necesita aproximadamente 192Ah para abastecer la carga.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Con este cálculo se procede a investigar tecnologías y sus características, que sean compactibles con el proyecto. En la siguiente tabla se puede observar tecnologías disponibles en el mercado.

TABLA 23 Características de tipos de baterías en el mercado

Característica	Batería de Ión de Litio (LiFePO4)	Batería de Gel	Batería de Plomo-Ácido Convencional
Densidad Energética	Alta (150-200 Wh/kg)	Media (30-50 Wh/kg)	Baja (25-40 Wh/kg)
Ciclo de Vida	4000-6000 ciclos	500-1500 ciclos	300-1000 ciclos
Eficiencia de Carga	95-98%	85-90%	75-85%
Profundidad de Descarga (DOD)	80-90%	50-70%	50%
Peso	Ligera menos de plomo acido	Pesada	Muy pesada
Mantenimiento	Sin mantenimiento	Sin mantenimiento	Requiere mantenimiento
Tiempo de Carga	Rápido (1-4 horas)	Medio (6-12 horas)	Lento (10-16 horas)
Costo Inicial	Alto	Medio	Bajo
Temperatura de Operación	-20°C a 60°C	-10°C a 50°C	0°C a 50°C
Autodescarga Mensual	<3%	3-5%	10-15%
Aplicaciones Comunes	Energía solar/eólica, vehículos eléctricos, UPS, carritos de golf	Sistemas solares pequeños, UPS, telecomunicaciones	Automóviles, bancos, sistemas respaldo

Por la tecnología y el tiempo de vida de la batería las más opcionales para el proyecto son las baterías de ion de litio y de gel, sin embargo, por su eficiencia, el tiempo de vida y su seguridad para ambientes ecológicos la mejor opción son las baterías Batería de Ion de Litio (LiFePO4). Un que el costo es más levado con relación a la batería de gel.



FIGURA 25 batería escogida de LiFePO4

Por ende, se escoge la batería de Ion de Litio (LiFePO₄) con las siguientes características [42], que se da a conocer en la siguiente tabla

TABLA 24 Características de la batería seleccionada

Tipo de batería	LiFePO ₄ (fosfato del hierro del litio)
Modelo	MC-48V120Ah.
Nombre de la marca	OEM/ODM
Voltaje nominal	48V
Capacidad	120Ah 25 °C, C10
Energía nominal	5760Wh 25 °C, C10
Voltaje de la operación	37,5 ~ 54,75 V
Temperatura de la operación	Carga: 0 °C - 45 °C Descarga: -20 °C - 60 °C
Ciclo de vida 100% DOD	> 3000 ciclos (5760Wh 25 °C,C10)
Ciclo de Vida 80% DOD	> 4000 ciclos (4608Wh 25 °C,C10)
Dimensión	442x440x223mm (W x D x H)
Peso	~ 48 kg
Período de garantía	3 años
Protección del medio ambiente	IP54

El precio de esta batería está en 850 dólares americanos, con las características como los ciclos de carga y descarga, a demás de la energía que puede almacenar podemos calcular el número de baterías necesarias.

$$Numero_{baterias} = \frac{4600}{48 \cdot 120 \cdot 0.8} = 0.98 \approx 1$$

Con una batería de LiFePO₄ (fosfato del hierro del litio) podemos cubrir la demanda de energía y almacenarla para poder usar en momento de falta de producción del aerogenerador. Con el cual se puede cubrir la demanda por un día hasta la descarga de la batería.

Inversor

Para el cálculo del inversor se debe tener en consideración el voltaje de entrada que es de 48v, a demás de la potencia de que va a satisfacer, es decir la potencia instantánea donde todos los equipos van a estar conectados y funcionando al mismo tiempo que esta alrededor de 330W, la demás de la salida debido a que los equipos funcionan con un voltaje de 120v en ac.

Con estos parámetros se hace elección de Inversor de potencia de 1500 W, 12 V CC, 24 V CC o 48 V CC a 120 V CA, inversor de onda sinusoidal pura RBP1500W[43] este inversor va a trabajar de forma segura.



FIGURA 26 inversor seleccionado RBP1500W

Las características del inversor se dan a conocer a continuación

TABLA 25 Características del inversor

Tamaño del inversor (pulgadas)	Peso neto (libra)	Potencia	Voltaje de salida de CA	Rango de voltaje de entrada de CC	Consumo de corriente sin carga	Eficiencia	Regulación de CA	Frecuencia	Sobrecarga
9,9 x 8 x 3,7	7.2	1500 W	120v	48 V	0,8 A	85% - 90%	3%	50 Hz o 60 Hz	Apagar y recuperar manualmente

Las características del inversor están acordes a los parámetros del sistema por ende se escoge el inversor RBP1500W el costo de este inversor está rondando los 200 dólares.

Selección del conductor

Para el cálculo del conductor se tome en consideración los diferentes tramos, como se detallan en la tabla 23, los cálculos se realizan tomando en consideración las ecuaciones Ec.19 y Ec.20.

$$S = \frac{P * L * I}{\Delta V}$$

$$S = \frac{2 * 0.14 * 8 * 31.25}{1.44} = 4 \text{ mm}^2$$

$$\Delta V = \frac{V * L_a}{100}$$

$$\Delta V = \frac{48 * 0.33}{100} = 1.44$$

el proceso de cálculo se lo realiza con los datos en tabla y los calibres de los conductores, haciendo uso de las ecuaciones 19 y 20.

TABLA 26 Resumen de la selección del cableado

	Corriente de salida (I)A	Potencia de los instrumentos	Voltaje nominal	eficiencia	limite admisible(la)	variación voltaje(Δ V)	Resistividad cobre	Distancia (L) m	Sección conductor mm	AWG
Aerogenerador-controlador	16,6667	1000	48	0,800	0,03	1,44	0,017	8	3,1	8
controlador-batería	30,625	1500	48	0,980	0,03	1,44	0,017	3	2,2	10
batería-inversor	30,625	1500	48	0,980	0,03	1,44	0,017	3	2,2	10
inversor-carga	12,25	1500	120	0,980	0,03	3,6	0,017	3	0,3	12

El cambio de mm cuadrados de sistema internación de medida al estándar a AWG se lo realiza siguiendo los parámetros de cambio[44].

Para el tramo desde el aerogenerador hasta el controlador se selecciona conductores de tipo XLP que son óptimos para permanecer en exteriores, THHN se escoge para las demas conexiones.

Protección del sistema

El tramo de corriente alterna, donde el inversor suministra energía a las cargas conectadas a 120V AC, se instala un disyuntor de 16A a 20A, acorde a la corriente de salida del inversor, evitando sobrecargas en los circuitos conectados.

$$I_{max} = \frac{1500}{120} = 12.5A$$

Para lo cual se escoge un disyuntor Schneider Electric QO120CP, la capacidad es 20 A, debido a que la corriente máxima se debe multiplica por 1.2 debido a que existen picos de corriente al arrancar los equipos.



FIGURA 27 Disyuntor seleccionado QQ120CP DE 20ª

Las características de este dispositivo se pueden encontrar en el anexo D

4.4. Determinación del costo del sistema

La selección de los equipos necesarios para el desarrollo de un sistema off-grid, además de los aerogeneradores, se ha realizado a partir de tiendas en línea que ofrecen los dispositivos más actualizados del mercado. Para la adquisición de estos equipos, es posible encontrarlos tanto de manera individual como en lotes, lo que permite mayor flexibilidad en la compra según las necesidades del proyecto.

TABLA 27 Costo del sistema

	Cantidad	Precio (dólares)
Aerogenerador Tianjin ZF-M-1KW	1	800
Controlador de carga Aisinilalao	1	60
baterías Bateria de ion de Litio (LiFePO4)	1	850
Inversor RBP1500W	1	200



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Conductor XLP, AWG 8	8 m	30
conductor THHN, AWG 10	12 m	13
disyuntor Schneider Electric QO120CP	1	14
Varilla Copperweld 5/8 x 1,80mtrs + conector Cooperweld 5/8	1	17
soportes, ganchos,		240
Total		2224

El costo total es de los materiales que se encuentran dentro de la tienda online, sin embargo, el costo de importación, el costo de aranceles, impuestos, tramites dentro de la aduna y como el costo de transporte de la mercadería desde las bodegas de la empresa que lo envía tiene un costo adicional hasta llegar al puerto de destino del producto.

TABLA 28 Cálculo de los costos de importación

	Descripción	Referencia	Elemento del sistema				Productos	Costo total en dólares
Valor del FOB								
		Equipo	aerogenerador	controlador	baterías	inversor		
Costo neto del sistema	Costo inicial del producto	cantidad	1	1	1	1	1910	
		costo total en dólares	800	60	850	200		
Flete	Valor del transporte por mar	peso kg	31	1,3	48	3	310	
		CBM	2	0,002	0,02	0,056		



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Seguro de transporte	Valor primo	Porcentaje	1,75%				33,43
Pago de tributos por importación							
AD-VALOREM - arancel cobrado a las mercancías	(Arancel Cobrado a las Mercancías)	Código Arancel	N/d	N/d	N/d	N/d	0
FODINFA-fondo de desarrollo para la infancia	(Fondo de Desarrollo para la Infancia)	Porcentaje	0.50%				9,55
IVA-impuesto al valor agregado	(Impuesto al Valor Agregado)	Porcentaje	15%				286,2
Costo total de importación en dólares							2549
Costo total de instalación del sistema aislado a la red en dólares							2763

En la tabla 25 podemos ver el costo de importación y de los instrumentos necesarios del sistema dando como resultado que se necesita 2549 dólares para la importación, este precio está incluido el costo de los tributos que están designados para productos de importación mientras que el costo total de instalación es de alrededor de 2763 dólares.

El cálculo del costo de flete se basa en el peso de los equipos, según las especificaciones proporcionadas por el fabricante. A partir de estos datos, se determina el CBM (metro cúbico), que representa el volumen de la carga. Para este cálculo, se emplea una



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



calculadora CBM, donde es necesario ingresar la longitud, ancho y altura de los equipos a transportar.

Con estos valores, se obtiene el costo del flete y del seguro de transporte. Para determinar los aranceles aplicables, se consulta la clasificación arancelaria en la página del Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE). Según esta clasificación, los equipos eléctricos se encuentran dentro de la Sección XV, Capítulo 85, donde se agrupan máquinas, aparatos y material eléctrico. En particular, la partida 85.01 abarca los generadores eléctricos, los cuales tienen la función de convertir diversas fuentes de energía en energía eléctrica para su uso en distintas aplicaciones.

Tiempo de vida y remplazos de los equipos

Para el costo de sustitución se debe conocer del tiempo de vida de los equipos, estos datos se encuentran dentro de las características que especifica el fabricante y distribuidor de los equipos, estos costos están considerados en el presente.

TABLA 29 Remplazo de los materiales

	Cantidad	Tiempo estimado de vida en años	Numero de Sustituciones	Costo	Costo total
Aerogenerador Tianjin ZF-M-1KW	1	20	0	800	800
Controlador de carga Aisinilalao	1	7	2	60	180
Baterías Batería de Ion de Litio (LiFePO4)	1	10	1	850	1700
Inversor RBP1500W	1	10	1	200	400

El costo de los equipos está considerado el costo a través del análisis FOB, debido a que los tiempos de vida de los equipos son diferentes y no se va realizar las importaciones en los mismos tiempos, las importaciones se debe considerar el tiempo como para las baterías y el inversor tienen un tiempo de vida similar.



4.4. Viabilidad Económica

Realizado el cálculo del costo actual de los equipos, las características del potencial eólico y de producción del aerogenerador, permiten cumplir con la demanda de energía de las cabañas, lo que permite realizar el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN)[45].

Flujo de caja

El análisis del flujo de caja es una herramienta clave para evaluar la rentabilidad del proyecto y el período de recuperación de la inversión, permite proyectar el comportamiento de los ingresos anualmente por la producción de energía, así como de los egresos asociados durante toda la vida útil del sistema, este enfoque permite realizar la evaluación de la viabilidad del proyecto desde una perspectiva económica.[45]

Para la determinación se establece parámetros como son la tasa de descuento que se establece con el 12% este valor lo determina el banco central del Ecuador para este tipo de proyectos, la vida útil del proyecto se establece en 20 años debido a que durante este periodo el aerogenerador funciona en condiciones normales, el costo de la energía para la generación es de 0.1 dólares, el costo de operación se establece en cero debido a que esto lo realizara el propietario.

Tasa interna de retorno – TIR

El TIR (Tasa Interna de Retorno) es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto sea igual a cero, es decir, es la tasa de rendimiento que iguala los flujos de caja futuros con la inversión inicial. Para calcularlo, se plantea una ecuación donde se suman los flujos de caja netos descontados a la tasa TIR y se resuelve mediante métodos numéricos, como prueba y error o herramientas como Excel, que



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



ofrece la función $=TIR()$ para obtener el resultado de manera rápida y precisa. Un TIR mayor que la tasa de descuento indica que el proyecto es viable y atractivo.

Valor actual neto - VAN

El VAN o valor actual neto da a conocer el indicador de rentabilidad del proyecto en términos netos absolutos, este busca analizar entradas y salidas de efectivo, después de determinar los flujos efectivos se realiza la diferencia entre el valor actual y el desembolso inicial. Con el objetivo de evaluar y encontrar la ganancia del proyecto,

TABLA 30 Parámetros para el cálculo de la viabilidad económica

Parámetros Generales	Valor
Tasa de descuento	12%
Tiempo de inversión	20 años
Costo total del sistema escenario	2224,00
Costos por reemplazos de equipos	2280,00
Costos de operación y mantenimiento	0,00
Costo de energía	0,10

Cálculo de los indicadores VAN y TIR

El cálculo de los indicadores de como son el TIR y el VAN permiten evaluar la rentabilidad económica del proyecto, dentro del anexo F podemos encontrar el cálculo de los parámetros que permiten observar si el desarrollo del proyecto es rentable económicamente, Para ello se consideran características como el tiempo de vida de los elementos, la tasa de descuento, el costo de generación y el flujo económico para el proyecto. En la siguiente tabla podemos observar el resultado del cálculo.

TABLA 31 Indicadores económicos del proyecto

Tasa de descuento	Costo de generación eléctrica por kw	TIR	VAN	PRI
12%	0.10	14%	219.33	14

Como podemos observar la tasa de interna de retorno TIR es mayor a la tasa de descuento, este valor indica que es rentable la inversión en el proyecto y el valor actual neto VAN es positivo no mayor a cero lo que da a conocer que la inversión va a ser recuperado dentro del tiempo de vida de los equipos.

En la figura 27 podemos observar cómo es el comportamiento del flujo de caja vs el tiempo de recuperación de lo invertido que es de 14 años, por ello se encuentra dentro del tiempo de vida de 20 años, lo que permite tener una recuperación del capital y tener valores positivos, permitiendo la inversión en el proyecto.

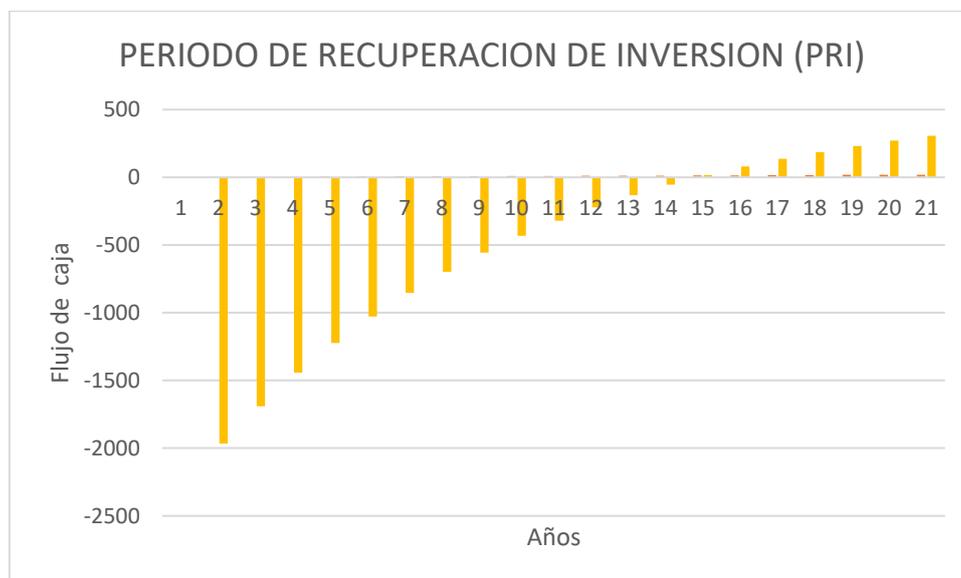


Figura 28 Periodo de recuperación de inversión



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El estudio del análisis técnico del estudio condujo a la investigación de instrumentos que permiten la recopilación de datos del medio ambiente como la velocidad del aire, la dirección del viento, esta parte permitió la elaboración de un pequeño sistema de monitoreo de la velocidad del viento, a dirección y la temperatura, este instrumento se realizó a través de la programación dentro de la plataforma de Arduino, la recopilación de los datos se estableció en 1 dato cada 30 segundos y almacenarlos dentro de una tarjeta extraíble.
- Luego de la recopilación de los datos se procede al tratamiento de estos, y encontrar parámetros como la velocidad promedio el rango de velocidades que se establecieron como la velocidad media 5,15 m/s, la variabilidad del viento o Forma (k) 2,48 que es una constante que indica el cambio de los vientos para el lugar es adecuado para la pequeña ceración, que permite interpretar el viento más frecuente escala (c) 5,81m/s , además de los parámetros de Weibull que permitan evaluar la velocidad de viento más frecuente y la variabilidad de en el cambio del viento, que permitan evaluar la potencia de generación eléctrica a través de la potencia eólica.
- Con los parámetros de potencia de generación y la carga a abastecer, condujo a la búsqueda de equipos que trabajen dentro de los rangos físicos del lugar, para ello se realiza una investigación dentro de las tiendas online, estas muestran los diferentes productos y las características de los equipos tanto en precio como capacidad de producción eléctrica y capacidad de trabajo, estas características de los equipos fueron seleccionados de acuerdo a los parámetros establecidos para el aerogenerador se selección el modelo Tianjin ZF-M-1KW que su rango de



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



trabajo está acorde a los parámetros de nuestro lugar de estudio, tanto la carga y la generación.

- Al realizar el análisis económico se puede obtener la información de la rentabilidad del proyecto, debido a que el TIR es mayor a la tasa de descuento y el VAN arroja valores positivos, en el PRI es de 14 años que se encuentra dentro del tiempo de vida de 20 años considerado por los equipos, lo que permite la inversión del capital para este tipo de proyecto.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Recomendaciones:

- La investigación realizada brinda una perspectiva para la ejecución de nuevos proyectos enfocados al aprovechamiento de la energía eólica, para sistemas que se encuentran aislados de la red de distribución.
- En aprovechamiento de los recursos eólicos en proyectos de pequeña escala brindan nuevas oportunidades para el auto consumo de las viviendas, y pequeños establecimientos así mejorar el consumo de energía y ser amigables con la naturaleza.



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

SUBDECANATO



- [1] E. Migoya, A. Crespo, A. Jiménez, J. García, y F. Manuel, «Wind energy resource assessment in Madrid region», *Renew. ENERGY*, vol. 32, n.º 9, pp. 1467-1483, jul. 2007, doi: 10.1016/j.renene.2006.06.015.
- [2] J. Guillot Fula y A. Vilorio, «Estudio Sobre el Abastecimiento Constante de Energía Eólica», *Investig. E Innov. En Ing.*, vol. 3, n.º 2, jul. 2015, doi: 10.17081/invinno.3.2.2028.
- [3] d. ochoa y s. martinez, «Modeling an Isolated Hybrid Wind-Diesel Power System for Performing Frequency Control Studies. A Case of Study: San Cristobal Island, Galapagos–Ecuador», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, n.º 05, pp. 775-787, may 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8891946.
- [4] G. Álvarez, M. Moreno, R. O. Toledo, y O. A. Ojeda, «Propuestas de normativas para la disposición final de equipamientos de un parque eólico al finalizar su vida productiva», en *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, sep. 2022, pp. 1-6. doi: 10.1109/ARGENCON55245.2022.9940108.
- [5] Y. G. Cabrera, G. V. Castro, R. I. Cortez, y I. K. Á. Pérez, «Comparison of wind resource from physical and virtual weather stations in the municipality of La Estrella Tabasco», en *2022 IEEE 40th Central America and Panama Convention (CONCAPAN)*, nov. 2022, pp. 1-6. doi: 10.1109/CONCAPAN48024.2022.9997722.
- [6] S. Pardillos, *Manual de Energía Eólica: Desarrollo de Proyectos e Instalaciones*. en MANUAL DE ENERGIA EOLICA: DESARROLLO DE PROYECTOS E INSTALACIONES. 2017, p. 446.
- [7] M. V. Chasiguano Sanipatin, «IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO PARA EL ESTUDIO DE TURBINAS EÓLICAS DE BAJA POTENCIA», tesis, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/11601/2/04%20MEL%20130%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- [8] «Energía limpia», energía limpia. [En línea]. Disponible en: <https://cleanpower.org/>
- [9] J. M. Escudero Lopez, *Manual de energía eólica: Investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distinto tipo de instalaciones*. Mundi-Prensa, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/55241>
- [10] J. M. Escudero Lopez, *Manual de energía eólica: Investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distinto tipo de instalaciones*. Mundi-Prensa, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/55241>
- [11] INEL, «Inel - Escuela Técnica de Ingeniería», Escuela técnica de ingeniería. [En línea]. Disponible en: <https://inelinc.com/>
- [12] D. X. OCHOA OCHOA y M. S. RONQUILLO MOLINA, «ANÁLISIS Y RECONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO (EÓLICO-FOTOVOLTAICO) AISLADO DE LA UNIVERSIDAD



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

SUBDECANATO



- POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA», Documento, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21283/1/UPS-CT009363.pdf>
- [13] «Revolucionando la generación de energía eólica con tecnología innovadora», energy5.com. [En línea]. Disponible en: <https://energy5.com/es/revolucionando-la-generacion-de-energia-eolica-con-tecnologia-innovadora>
- [14] «Aerogeneradores domésticos para tener electricidad gratis». [En línea]. Disponible en: <https://www.xatakahome.com/a-fondo/aerogeneradores-domesticos-para-tener-electricidad-gratis-que-tipos-ventajas-inconvenientes-modelos-180-euros>
- [15] «Los 15 mayores fabricantes de aerogeneradores del mundo: Vestas, líder, con una cuota superior al 20%», informativo. [En línea]. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-15-mayores-fabricantes-de-aerogeneradores-del-mundo-vestas-lider-con-una-cuota-superior-al-20/>
- [16] M. F. TITUAÑA DE LA VEGA, «MODELAMIENTO DE UN MICRO AEROGENERADOR EN SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL», UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8166/6/UPS-KT01050.pdf>
- [17] Departamento de Energía, EE.UU., «Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad», [En línea]. Disponible en: <https://www.nrel.gov/docs/fy07osti/42070.pdf>
- [18] D. Wood, «2.22 - Small Wind Turbines», en *Comprehensive Renewable Energy (Second Edition)*, T. M. Letcher, Ed., Oxford: Elsevier, 2022, pp. 732-748. doi: 10.1016/B978-0-12-819727-1.00161-8.
- [19] L Tenghiri, Y Khalil, F Abdi, y and A Bentamy, «Optimum design of a small wind turbine blade for maximum power production», presentado en Este artículo presenta una metodología típica de diseño del rotor. palas de una pequeña turbina eólica con una generación de energía de 11 kW (radio del rotor de 3,5 m)., Ifrane-Marrocco: IOP Publishing, 2018. doi: doi :10.1088/1755-1315/161/1/012008.
- [20] M. Calì, , G. Cacopardo, , G. Baiamonte G. Laudani, y , R. Ambu, «Efficiency Optimization in Medium Power Wind Turbines: an Innovative Mechanical Pitch Control System», 2022, doi: <https://www.doi.org/10.15866/iremos.v15i6.23237>.
- [21] W. Tong, *Wind Power Generation and Wind Turbine Design*. en Engineering. southampton: WIT Press, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://www.witpress.com/books/978-1-84564-205-1>
- [22] Amazon y alibaba, «Características de aerogeneradores». [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/Pikasola-Generador-cuchillas-velocidad-generador/dp/B07VC2ZS79?th=1>
- [23] solarama, «Diferencias entre inversores on-grid y off-grid». [En línea]. Disponible en: <https://solarama.mx/blog/inversores-on-grid-y-off-grid/>



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

SUBDECANATO



- [24] «El inversor aislado», inversor aislado. [En línea]. Disponible en: https://seslab.org/fotovoltaico/15_el_inversor_aislado.html
- [25] plena-energia, «Inversor monofásico y trifásico: Qué son, diferencias y más», informativo. [En línea]. Disponible en: <https://www.plena-energia.com/post/inversor-monofasico-trifasico>
- [26] Grupo Logisa, «Banco de baterías en subestaciones eléctricas: definición, características y aplicaciones», Enersys. [En línea]. Disponible en: <https://enersys.com.mx/blog/banco-de-baterias/>
- [27] CCEEA, «CONEXIONES DEL BANCO DE BATERÍAS». [En línea]. Disponible en: <https://www.ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/conexiones-del-banco-de-baterias-recomendaciones-generales>
- [28] German Rivera Alex Santiago y Yáñez Sarabia Yessica Mishell, «REPOTENCIACIÓN Y EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO EN LOS LABORATORIOS DE CONTROL Y MÁQUINAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, UTILIZANDO UN INVERSOR OFF GRID EN CONFORMIDAD CON LA NORMA 003/18», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9342/1/PI-002153.pdf>
- [29] «REGULADOR DE AEROGENERADOR Modelo AERO», SOLUCIONES ENERGETICAS S.A. [En línea]. Disponible en: <https://www.solener.com/reg aero.pdf>
- [30] «Regulador de Carga Eólico», Reguladordecarga.net. [En línea]. Disponible en: <https://reguladordecarga.net/regulador-de-carga-eolico/#:~:text=El%20regulador%20de%20carga%20e%C3%B3lico,logren%20alcanzar%20toda%20su%20carga.>
- [31] «Controlador de carga». [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.co/controladores-de-carga-mppt/controlador-carga-mppt-100a-122448-150v-lcd-srne>
- [32] suconel, «Sensor Magnéticos De Efecto Hall 3144 SENHALL», suconel.com. [En línea]. Disponible en: <https://sucionel.com/product/sensor-magneticos-de-efecto-hall-3144-senhall/>
- [33] AMAZON, «2 unids tarjeta micro SD tarjeta lector módulo SPI interfaz compatible con Ar-duino». [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/tarjeta-lector-interfaz-compatible-Ar-duino/dp/B07PFDFFPPC/ref=sr_1_3?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1IFF7QRIJRHHL&dib=eyJ2IjoiMSJ9.OLAcHu9-G6oy6BVgmEOunX7CtGeUCIEjP8B6_WfA_DIcZszgfPZmAIDWUEsmpnI9rdq qRCcYe17mvCjqhem1q6-h1ZfS3ERpBH1Kooc3Utxv1b1c-EZ3wq6nGkeImXtzlD67Jwlf9DR2peLRSs3GxDVb58AENVhhgJ-mvcc_musR0sSX5wAVUcZvt4DwxQBrfIDpfKuwZfnWRW-45Fu76w0gop6AY6fSfQ5vRYKuMqw.BK06tR2HV7uYuspzILEUxR67U2caUYcd6o31nSswBaM&dib_tag=se&keywords=modulo+tarjeta+de+memoria+sd+para



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

SUBDECANATO



- +arduino&qid=1732076727&sprefix=modulo+tarjeta+de+memoria+sd+para+ardu
ino%2Caps%2C144&sr=8-3
- [34] Luis Omar Becerra Santiago y ,María Elena Guardado González, «ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE», *CENAM*, p. 23, dic. 2001.
- [35] José Manuel Guevara Díaz, «Quantification of the Profile Wind up 100m from Surface and its Incidence in Air Climatology.», p. 22.
- [36] Frank M White, *Mecanica de fluidos*, Quinta. MacGraw Hill, 2003. [En línea]. Disponible en:
https://www.academia.edu/44454171/Mec%C3%A1nica_de_fluidos_quinta_5ta_edici%C3%B3n_Frank_White
- [37] F. A. LANG TASSO, «ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE LA REGIÓN DEL MAULE, CHILE», UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO, CHILE, 2010. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148786/Lang-%20Estimaci%C3%B3n%20del%20potencial%20%282010%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [38] CHACHAPOYA VELOZ CÉSAR AUGUSTO, «ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DE BAJA POTENCIA, A TRAVÉS DE ENERGÍA EÓLICA», ESPOCH, RIOBAMBA, 2011. [En línea]. Disponible en:
<http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/3042>
- [39] Alejandro Jurado, Edgardo Vinson, y Bibiana Cerne, Pablo Gill, Fernando Nicchi, «Factor de capacidad de turbinas eólicas en Argentina», *Grupo Energía y Ambiente -GEA*, 2018. [En línea]. Disponible en:
https://editores.com.ar/sites/default/files/ie332_revista_aea_gea_turbinas.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [40] S. A. Herrera Meza, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA EN LA COMUNIDAD ARAQUE, SAN PABLO-OTAVALO», Universidad tecnica del norte, Ibarra, 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15667>
- [41] «Aerogenerador de Eje Horizontal», tienda online. [En línea]. Disponible en:
https://es.made-in-china.com/co_wxnaiermic/product_1kw-Horizontal-Axis-Wind-Turbine-Windmill-Wind-Generator-for-Home_ryeeurgsg.html
- [42] «Batería de ión de litio de la batería de 48V 120Ah LiFeepo4 para el inversor solar del híbrido de la energía del almacenamiento», Global Sources. [En línea]. Disponible en: <https://spanish.globalsources.com/Bater%C3%ADa-LiFePO4/Bateria-de-48V-LiFepo4-1177264870p.htm#Product>
- [43] «Inversor de potencia de 1500 W, 12 V CC, 24 V CC o 48 V CC a 120 V CA, inversor de onda sinusoidal pura RBP1500W con control remoto inalámbrico». [En línea]. Disponible en: <https://reliableinverters.com/products/1500w-power->



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

SUBDECANATO



- inverter-12vdc-24vdc-or-48vdc-to-120vac-pure-sine-wave-inverter-rbp1500w-with-wireless-remotestock-available-in-united-states?variant=41430179741878
- [44] Mugmal Pupiales William Fredy y Vega Tulcanazo Javier Armando, «IMPLEMENTACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO COMO SISTEMA ALTERNATIVO DE ENERGÍA RENOVABLE, EN LA CABAÑA EL SOL DEL SECTOR EL TABLÓN UBICADA EN LA COMUNIDAD NARANJITO PARROQUIA CARANQUI CANTÓN IBARRA, A PARTIR DEL AÑO 2012.», UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra, 2012. [En línea]. Disponible en:
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1336/1/FECYT%201467%20TESIS.pdf>
- [45] Mauricio M. Virreira Avila, *EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTOS DE INVERSIÓN Métodos y aplicaciones*. Bolivia, 2020. [En línea]. Disponible en:
https://www.upsa.edu.bo/images/libro_evaluacion-financiera-de-proyectos-de-inversion.pdf



ANEXOS

Anexo A

Código de Arduino del estación meteorológica

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

/////////////////////////////////////////////////////////////////
// Definiciones y configuraciones generales

#define CLK_PIN 3 // Pin CLK del encoder
#define DT_PIN 4 // Pin DT del encoder
const int SensorPin = 2; // Pin de interrupción para el anemómetro (2 o 3 en Arduino Uno)
const unsigned long EncoderMeasureInterval = 5000; // Intervalo de medición del encoder (5 segundos)
const unsigned long WindMeasureInterval = 10000; // Intervalo de medición del viento (10 segundos)
const int chipSelect = 10; // Pin de selección de chip para la microSD

int encoderPosition = 0; // Posición del encoder
int lastCLK = LOW; // Último estado de CLK
String direction = "N"; // Dirección cardinal
int stepsPerRevolution = 36; // Pasos por vuelta completa del encoder
int stepsPerDirection; // Pasos por cada dirección cardinal

int InterruptCounter = 0; // Contador de interrupciones del anemómetro
float WindSpeed = 0.0; // Velocidad del viento en km/h

unsigned long lastEncoderMeasure = 0; // Tiempo de la última medición del encoder
unsigned long lastWindMeasure = 0; // Tiempo de la última medición del viento

File dataFile; // Variable para manejar el archivo de la SD

/////////////////////////////////////////////////////////////////
// Setup

void setup() {
  // Configuración del encoder
  Serial.begin(9600); // Iniciar comunicación serial
  pinMode(CLK_PIN, INPUT); // Configurar CLK como entrada
  pinMode(DT_PIN, INPUT); // Configurar DT como entrada
```



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



```

lastCLK = digitalRead(CLK_PIN); // Leer el estado inicial de CLK
stepsPerDirection = stepsPerRevolution / 8; // Dividir vuelta completa en 8 partes

// Configuración del anemómetro
pinMode(SensorPin, INPUT_PULLUP); // Configurar el pin del anemómetro

// Iniciar interrupción para el anemómetro
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(SensorPin), countup, RISING);

// Inicializar la tarjeta microSD
checkSDCard();
}

////////////////////////////////////
// Loop principal

void loop() {
  // Comprobar si la tarjeta microSD está presente
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("No se encuentra la tarjeta SD. Por favor, colóquela.");
    while (!SD.begin(chipSelect)) { // Esperar hasta que se inserte la tarjeta
      delay(1000); // Esperar 1 segundo antes de volver a comprobar
    }
    Serial.println("Tarjeta SD detectada. Comenzando el proceso.");
  }

  // Siempre monitorear el encoder para detectar cambios en tiempo real
  updateEncoder();

  // Verificar si han pasado 5 segundos para medir el encoder
  if (millis() - lastEncoderMeasure >= EncoderMeasureInterval) {
    lastEncoderMeasure = millis(); // Actualizar el tiempo de la última medición
  }

  // Verificar si han pasado 10 segundos para medir el viento
  if (millis() - lastWindMeasure >= WindMeasureInterval) {
    lastWindMeasure = millis(); // Actualizar el tiempo de la última medición
    // Calcular la velocidad del viento
    calculateWindSpeed();

    // Imprimir y guardar los datos en el archivo
    printAndSaveData();
  }
}

```



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



```
}  
  
// Verifica la tarjeta SD en el setup  
void checkSDCard() {  
  if (!SD.begin(chipSelect)) {  
    Serial.println("No se encuentra la tarjeta SD. Por favor, colóquela.");  
    while (true); // Detener el programa si no se encuentra la tarjeta  
  }  
}  
  
// Actualiza la posición del encoder y la dirección cardinal  
void updateEncoder() {  
  int currentCLK = digitalRead(CLK_PIN); // Leer estado actual de CLK  
  
  if (currentCLK != lastCLK) { // Detectar cambio en CLK  
    if (digitalRead(DT_PIN) != currentCLK) {  
      encoderPosition++; // Incrementar si DT es diferente  
    } else {  
      encoderPosition--; // Decrementar si DT es igual  
    }  
  }  
  
  // Ajustar la posición entre 0 y el número total de pasos  
  if (encoderPosition < 0) {  
    encoderPosition = stepsPerRevolution - 1;  
  } else if (encoderPosition >= stepsPerRevolution) {  
    encoderPosition = 0;  
  }  
  
  // Determinar dirección cardinal  
  if (encoderPosition < stepsPerDirection) {  
    direction = "N";  
  } else if (encoderPosition < 2 * stepsPerDirection) {  
    direction = "NO";  
  } else if (encoderPosition < 3 * stepsPerDirection) {  
    direction = "O";  
  } else if (encoderPosition < 4 * stepsPerDirection) {  
    direction = "SO";  
  } else if (encoderPosition < 5 * stepsPerDirection) {  
    direction = "S";  
  } else if (encoderPosition < 6 * stepsPerDirection) {  
    direction = "SE";  
  } else if (encoderPosition < 7 * stepsPerDirection) {  
    direction = "E";  
  }  
}
```



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



```
    } else {
        direction = "NE";
    }
}

lastCLK = currentCLK; // Actualizar estado de CLK
}

// Calcular la velocidad del viento en km/h
void calculateWindSpeed() {
    // Cada pulso equivale a 2.4 km/h, dividido por el tiempo en segundos
    WindSpeed = (float)InterruptCounter / (WindMeasureInterval / 1000.0) * 2.4;

    // Reiniciar el contador para la siguiente medición
    InterruptCounter = 0;
}

// Imprimir y guardar los datos en el archivo
void printAndSaveData() {
    Serial.print("Dirección: ");
    Serial.print(direction);
    Serial.print(" | Velocidad viento: ");
    Serial.print(WindSpeed);    // Velocidad en km/h
    Serial.print(" km/h - ");
    Serial.print(WindSpeed / 3.6); // Velocidad en m/s
    Serial.println(" m/s");

    // Abrir el archivo para escribir
    dataFile = SD.open("data.csv", FILE_WRITE); // Cambiar extensión a .csv
    // Si se abre correctamente, escribir en el archivo
    if (dataFile) {
        dataFile.print(direction);    // Dirección
        dataFile.print(",");          // Separador
        dataFile.print(WindSpeed);    // Velocidad en km/h
        dataFile.print(",");          // Separador
        dataFile.print(WindSpeed / 3.6); // Velocidad en m/s
        dataFile.println();           // Nueva línea
        dataFile.close();             // Cerrar el archivo
    } else {
        Serial.println("Error al abrir el archivo data.csv");
    }
}
}
```



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



```
// Función de interrupción para contar pulsos del anemómetro  
void countup() {  
    InterruptCounter++;  
}
```

Anexo B

Características del aerogenerador

Model	ZF-M-500W	ZF-M-600W	ZF-M-800W	ZF-M-1KW
Rated Power	500W	600W	800W	1000W
Maximum Power	550W	650W	820W	1200W
Rated Voltage	12V/24V	24V/48V	24V/48V	48V
Startup Wind Speed	2.0m/s	2.0m/s	2.5m/s	2.5m/s
Rated Wind Speed	12m/s	12m/s	11m/s	12.5m/s
Safety Wind Speed	45m/s	45m/s	45m/s	40m/s
Net Body Weight	11kg	12kg	21kg	31kg
Rotor Diameter	1.6m	1.7m	2.0m	2.4m
Blade Height	0.75m	0.8m	0.9m	1.05m
Number of Blades	3	3	3	3
Blade Material	Nylon fiber			
Body material	Aluminum Alloy			
Generator	Three phase ac permanent magnet generator			
Control sys.	Electromagnetic brake/Regulating Mechanism Of Turning Wind Rotor Out Of The Wind Sideward			
Yawing method	Automatic wind angle adjustment			
Lubricating method	Automatic Lubricating			
Tower Format	Cable /Independent Tower			
Operating Temperature	-40°C ~ 80°C			

Anexo C

Características de la batería

Número de modelo	MC-48V120Ah.
Nombre de la marca	OEM/ODM
Origen	China
Pequeños pedidos	Aprobado

Especificaciones clave/ Características especiales:

- Tecnología ultra confiable del fosfato del hierro del litio (LiFePO4)
- Sistema integrado de gestión de baterías (BMS)
- Vida de ciclo ultra-larga
- Peso ligero y compacto
- Resistente al agua y al polvo (IP54)
- Recinto de metal altamente duradero
- Ambiente amigable

Información general	
Tipo de batería	LiFePO4 (fosfato del hierro del litio)
Voltaje nominal	48V
Capacidad nominal	120Ah 25 °C,C10
Energía nominal	5760Wh 25 °C,C10
Voltaje de la operación	37,5 ~ 54,75 V
Temperatura de la operación	Carga: 0 °C - 45 °C Descarga: -20 °C - 60 °C
Ciclo de vida 100% DOD	> 3000 ciclos (5760Wh 25 °C,C10)
Ciclo de Vida 80% DOD	> 4000 ciclos (4608Wh 25 °C,C10)
Vida de ciclo 50% DOD	> 6000 ciclos (2880Wh 25 °C,C10)
Dimensión	442x440x223mm (W x D x H)
Comunicación	RS485/RS232/CAN opcional
Peso	~ 48 kg
Período de garantía	3 años
Protección del medio ambiente	IP54

BMS/carga/descarga	
Voltaje de carga Max	54,75 V
Voltaje de corte de descarga	37,5 V
Corriente de carga Max	60A
Corriente de descarga Max	100A continúa 200A ráfaga (10 segundos)
Tasa de autodescarga	<2% por mes



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Anexo D

Características del interruptor

Especificaciones técnicas

Marca	Schneider Electric
Calificación actual	20 Amperios
Tipo de interruptor de circuito	Estándar
Tipo de montaje	Montaje enchufado
Número de polos	1
UPC	047569837999
Fabricante	Your One Source
Número de identificación de comercio global	00047569837999
Número de pieza	QO120CP
Dimensiones del producto	2 x 1 x 1 pulgadas
Número de modelo del producto	QO120CP
Descatalogado por el fabricante	Si
Tamaño	paquete de de 1
Color	Negro -
Material	Plástico
Voltaje	120 Voltios
Cantidad de paquetes de artículos	1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Anexo E
características del controlador de carga

Enviar a Ecuador

Todos

ES
Hola, Identificate Cuenta y Listas
Devoluciones y Pedidos

Descripción del producto

Especificaciones:
 Ajuste para voltaje: DC12V/24V, 48V
 Potencia máxima del generador de viento: 10000W
 Impermeable: IP67
 Protección: La sobretensión de la batería protege, límite de corriente del generador de viento, freno del generador de viento, protección de la velocidad
 Indicador: LED
 Capacidad: Modo de carga
 Manera de descarga: descarga sin electrodos y sin ruido MPPT
 Temperatura de trabajo: -31.0 °F+167.0 °F/85%RH (sin condensación)
 Tamaño: 0.394 x 3.346 x 0.906 in

El paquete incluye:
 1 controlador de generador de viento

Información de producto

Especificaciones técnicas

Nombre de la Marca	AISINILALAO
Descripción de la garantía	Consulta la sección Descripción del producto.
Color	24v
Usuarios sugeridos	Hombre, Mujer
Número de artículos	1
Fabricante	AISINILALAO
Número de parte	24V-66593959

Información adicional

ASIN	BOCLPCMR4B
Producto en amazon.com desde	octubre 24, 2023

Comentarios

¿Quieres informarnos sobre un precio más bajo? ▼

Anexo F

Cálculo del calibre del conductor

	Corriente de salida (IA)	Potencia de los instrumentos	Voltaje nominal	eficiencia	limite admisible (la)	variación voltaje(ΔV)	Resistividad ad cobre	Distancia (L) m	Sección conductor mm	AWG
Aerogenerador	16,6667	1000	48	0,800	0,03	1,44	0,017	8	3,1	8
controlador-ba	30,625	1500	48	0,980	0,03	1,44	0,017	3	2,2	10
batería-inverso	30,625	1500	48	0,980	0,03	1,44	0,017	3	2,2	10
inversor-carga	12,25	1500	120	0,980	0,03	3,6	0,017	3	0,3	12



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
SUBDECANATO



Anexo G

Análisis del flujo

AÑOS	EGRESOS	Generación Anual	Costo de generación	Ingresos	Valor neto	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	2280			0	-2280	-2280	
1		3456	0,102	352,512	352,512	314,74	-1965,26
2		3456	0,1	345,6	345,6	275,51	-1689,75
3		3456	0,1	345,6	345,6	245,99	-1443,76
4		3456	0,1	345,6	345,6	219,64	-1224,12
5		3456	0,1	345,6	345,6	196,10	-1028,02
6		3456	0,1	345,6	345,6	175,09	-852,93
7		3456	0,1	345,6	345,6	156,33	-696,59
8		3456	0,1	345,6	345,6	139,58	-557,01
9		3456	0,1	345,6	345,6	124,63	-432,39
10		3456	0,1	345,6	345,6	111,27	-321,11
11		3456	0,1	345,6	345,6	99,35	-221,76
12		3456	0,1	345,6	345,6	88,71	-133,05
13		3456	0,1	345,6	345,6	79,20	-53,85
14		3456	0,1	345,6	345,6	70,72	16,87
15		3456	0,1	345,6	345,6	63,14	80,01
16		3456	0,1	345,6	345,6	56,37	136,38
17		3456	0,1	345,6	345,6	50,33	186,72
18		3456	0,1	345,6	345,6	44,94	231,66
19		3456	0,1	345,6	345,6	40,13	271,78
20		3456	0,1	345,6	345,6	35,83	307,61

TIR	14%	> rentable al 12%
VAN	\$ 219,33	Positivo rentable