

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO Y LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA EN LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA - SEDE DE AYABACAS

Data de aceite: 01/02/2024

Armando Antonio Salinas Del Carpio

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-1032-0388>

Pamela Milagros Condori Huancapaza

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0009-0006-6193-0844>

Javier Alvaro Rivera Suaña

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-8943-7414>

Raúl Reynaldo Ito Díaz

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-3370-5990>

Cristhian Yimmy Hilasaca Zea

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4568-2116>

Alberto Paricahua Huaynapata

Universidad Nacional de Juliaca,
Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6315-3600>

RESUMEN: La ciudad de Juliaca es conocida como la ciudad de los vientos, pero hasta el momento aún no se han realizado investigaciones que demuestren cual es el verdadero potencial eólico que existe en la zona. Para cumplir ese objetivo se utilizó un aerogenerador de eje horizontal de 300 Watts con la finalidad de obtener parámetros de generación de energía eléctrica y calcular el rendimiento, factor de planta y las condiciones de velocidad del viento de la zona de Santa María de Ayabacas. Se utilizó un aerogenerador de eje vertical de 300 Watts el cual fue instalado en el techo de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables ubicado en la Sede de Ayabacas a una altura de 10 metros de altura y a través de un datalogger se almacenó los datos en una tarjeta Micro SD durante el tiempo establecido según la programación previamente configurado. Una vez terminado de almacenar los datos, estos datos son descargados a una PC para luego ser analizados mediante un software estadístico el cual nos ha permitido evaluar el rendimiento del aerogenerador de eje vertical, calcular el factor de planta y determinar la velocidad del viento para las condiciones reales del lugar.

PALABRAS CLAVE: Aerogenerador de eje

horizontal, datalogger, factor de planta, potencial eólico, rendimiento de aerogeneradores, velocidad del viento.

ANALYSIS AND EVALUATION OF THE WIND RESOURCE AND THE ELECTRICAL PARAMETERS OF A LOW POWER WIND TURBINE IN THE PROFESSIONAL SCHOOL OF ENGINEERING IN RENEWABLE ENERGIES OF THE NATIONAL UNIVERSITY OF JULIACA - SEDE DE AYABACAS

ABSTRACT: The city of Juliaca is known as the city of the winds, but to date no research has been carried out to demonstrate the true wind potential that exists in the area. To meet this objective, a 300 Watt horizontal axis wind turbine was used in order to obtain electrical energy generation parameters and calculate the performance, plant factor and wind speed conditions of the Santa María de Ayabacas area. A 300 Watt vertical axis wind turbine was used which was installed on the roof of the Professional School of Renewable Energy Engineering located at the Ayabacas Headquarters at a height of 10 meters high and through a datalogger the data was stored in a Micro SD card for the established time according to the previously configured schedule. Once the data has been stored, these data are downloaded to a PC and then analyzed using statistical software which has allowed us to evaluate the performance of the vertical axis wind turbine, calculate the plant factor and determine the wind speed for the real conditions of the place.

KEYWORDS: Horizontal axis wind turbine, datalogger, plant factor, wind potential, wind turbine performance, wind speed.

1 | INTRODUCCIÓN

Juliaca, conocida como la ciudad de los vientos, tiene gran recurso eólico, pero aún no se ha determinado cual es el potencial eólico que se puede aprovechar para la generación de energía eléctrica.

Para poder calcular el potencial eólico en la zona de Santa María de Ayabacas en Juliaca, Perú, se va a utilizar un sistema eólico que está compuesto principalmente por un aerogenerador de eje horizontal de 300 watts y un datalogger que va a obtener la mayor cantidad de parámetros de generación de energía eléctrica durante un tiempo establecido y almacenar datos de los parámetros de generación de energía eléctrica para poder realizar cálculos matemáticos y estadísticos y así concretar numéricamente los valores de rendimiento, factor de planta y velocidad del viento.

Es muy importante poder comprender el potencial eólico de la zona para la posible aplicación en proyectos futuros para la elaboración de proyectos de generación de energía eléctrica en la zona, tanto para los futuros ingenieros en energías renovables así como ingenieros desarrolladores de proyectos interesados en la energía eólica.

Existen varios trabajos de investigación referidos a la evaluación del recurso eólico, pero utilizan parámetros obtenidos por estaciones meteorológicas ya sean propias, o de las estaciones meteorológicas del SENAHMI y en último de los casos de mapas satelitales

como la página web de la NASA.

Buenaños (2015), realiza un estudio en donde indica el estudio de los parámetros eólicos, recolectados en cuatro años de una estación meteorológica en la Universidad Pontificia Bolivariana, al ver que realizar la simulación en el software RETScreen no resultaba suficiente, evaluó el comportamiento del aerogenerador Aeolos-H 5kW para poder analizar la viabilidad de un proyecto a gran escala en Medellín, Colombia. Analizando a detalle los datos obtenidos con la ayuda de un software computacional y Matlab, usando cuatro métodos diferentes para hallar de los parámetros de Weibull, así como también determino las curvas P-V, la rosa de viento y demás análisis necesarios para la ejecución del proyecto. Por lo que se concluyó que los datos recolectados no son suficientes para el estudio, para hallar la distribución Weibull se utilizó el método de mínimos cuadrados, en aspectos técnico y económico dos de las turbinas presentaron mejor desempeño en la relación costo versus producción de energía.

Vidal (2014), el cual tuvo como propósito cuantificar la energía contenida en el viento de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Chihuahua, México, realizando su medición y evaluación para asegurar la optimización de la producción eléctrica cuando se decida instalar aerogeneradores eólicos tipo savonius. Los resultados del estudio describen un viento de baja velocidad con promedio de 2.26 m/s, con un potencial energético de 6W/m² con dirección predominante al oeste sur oeste (WSW) y al sur oeste (SW).

Franco (2022), quien estudio el potencial eólico de una estación meteorológica Vantage Pro 2, obteniendo velocidad y dirección del viento registrados por un Raspberry Pi 3, donde hizo un estudio de 8 meses, desde agosto del 2021 a marzo del 2022, con 3064 datos para cada variable para determinar que la velocidad del viento en la ciudad del Cusco es de 0.7957 m/s y resultando con un potencial eólico de 1.7057 w/m². El autor concluyo que existe una correlación positiva entre la velocidad del viento y el potencial eólico de la UNSAAC Cusco.

Estrada (2015), quien analizo el comportamiento del recurso eólico para generar energía con aerogeneradores de eje horizontal, en donde el objetivo fue estudiar la velocidad y dirección del viento a una altura de 58 m, los datos se obtuvieron del Laboratorio de Física de la Universidad de Piura. Utilizando el software WASP para el análisis matemático de los datos. Se obtuvo un gran aporte sobre el comportamiento dinámico de la velocidad, altura y rosa de vientos para la Región Piura.

Según Yancachajlla, Taipe, & Gallegos (2019), quienes estimaron el potencial de la energía eólica en la ciudad de Juliaca. Obteniéndose datos de la estación meteorológica Vantage pro, ubicada en el campus de la Universidad Nacional de Juliaca Sede la Capilla. Se obtuvieron los resultados en términos de parámetros establecidos, como son Weibull k con 1.4526, un valor que indica que la distribución no es asimétrica, un factor de escala c con un valor cercano a la media. La estimación del potencial eólico en Juliaca fue de 16.912W/m², la velocidad promedio de 2.27515 m/s, concluyéndose que la velocidad

no es constante y la dirección del viento varía para el uso del aerogenerador Black 300 que requiere una velocidad mínima de arranque de 1.8 m/s.

En el 2015 se presentó un proyecto encargado el recurso eólico y solar en la ciudad de Juliaca, analizando datos proporcionados por la estación meteorológica del SENAMHI Puno y la base de datos de la NASA disponible en la red. Para la estimación del potencial eólico se usó el método de distribución de Weibull y para la radiación solar el método de Liu-Jordan. Obteniéndose como resultado una velocidad mensual del viento entre 2 y 3 m/s para una altura de 10 m del suelo, la máxima velocidad del viento es de 6.56 m/s con una dirección predominante al oeste (Quiñonez, 2015).

En el 2018, con el objetivo de conocer la viabilidad técnica de la construcción de un miniparque eólico en la ciudad de Puno, se realizó la evaluación del recurso eólico mediante hojas de cálculo de Excel, Google Earth pro para conocer la información del terreno y datos del viento, también obtuvo información relevante del Atlas Eólico del Perú y del SENAMHI.

Se dispuso la información de la velocidad promedio y máximo, direcciones del viento promedio y máxima. Obteniendo como resultado una densidad para la zona de 0.78 m/s, velocidad promedio anual de 8.58m/s y una energía anual extraíble de 1.64 MWH (Jimenes, 2018).

2 | MATERIALES Y MÉTODOS

EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos a usar son un sistema eólico compuesto por el aerogenerador (Tabla 1), convertidor (Tabla 2), regulador de carga (Tabla 3), batería de almacenamiento (Tabla 4), inversor (Tabla 5).

Marca	Delta Volt
Modelo	Black 300
Hélice	3 hojas
Material	Carbón - Nylon
Diámetro del rotor	1.22 metros
Generador	Permanente, Direct Drive
Voltaje	24V DC (12V, 48V)
Rendimiento a 9.36 m/s	300 W
Velocidad mínima para cargar	1.8 m/s
Peso del Generador	15 kg

Tabla 1 Datos técnicos del aerogenerador

Modelo	FW03-12
Voltaje nominal de la batería	12 V
Potencia nominal del generador de viento	300W
Voltaje de arranque de freno	15V
Voltaje de recuperación de freno	13.5 V
Corriente de reposo	15 mA
Nivel de protección	IP67

Tabla 2 Datos técnicos del convertor de carga para el aerogenerador

Marca	Phocos
Modelo	CML05
Máxima corriente de módulos	5A
Máxima corriente de consumo	5A
Voltaje nominal del sistema	12V
Autoconsumo	Menor a 4mA
Nivel de protección	IP22

Tabla 3 Datos técnicos del regulador de carga

Potencia	300W
Tipo de onda	Onda sinusoidal modificada
Voltaje de entrada	12V
Voltaje de salida	220V

Tabla 4 Datos técnicos del inversor

En la Figura 5 se detalla a través de un diagrama de flujo la secuencia de conexión entre los equipos

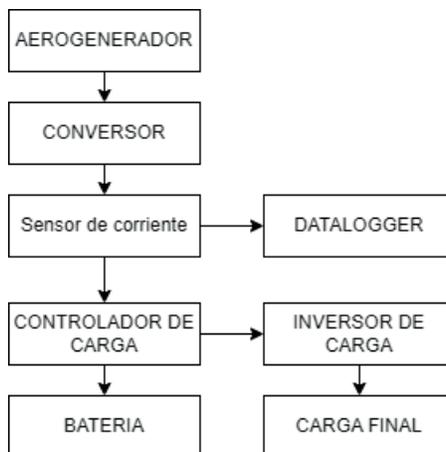


Figura 5 - Implementación del datalogger en el sistema eólico.

METODOLOGIA

El Sistema eólico se encuentra instalado en el techo de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables ubicado en la Sede Ayabacas (15°24'34.51"S 70° 5'26.28"O) en la parte norte de la ciudad de Juliaca a una altura de 3837 m.s.n.m.

Para poder calcular el potencial eólico en la zona de Santa María de Ayabacas en Juliaca, Perú, se va a utilizar un sistema eólico que está compuesto principalmente por un aerogenerador de eje vertical de 300 watts, un regulador de carga, una batería de gel, un inversor y un datalogger que va a permitir registrar y almacenar a cada segundo durante las 24 horas del día datos de generación tales como voltaje, corriente y potencia eléctrica

La metodología abordada en esta investigación es del tipo analítico ya que se van a obtener datos técnicos de la generación de energía eléctrica por parte del aerogenerador de eje vertical los cuales nos va a permitir evaluar e interpretar los parámetros de rendimiento, factor de planta y velocidad del viento durante un periodo de tiempo establecido.

Una vez obtenido los datos de generación son procesados en softwares estadísticos los cuales nos va a permitir calcular parámetros de rendimiento, factor de planta y sobre todo la velocidad del viento.

Como se observa en la Figura 5, se instalará un sensor de corriente que se conecta en serie directamente en el tramo comprendido entre los cables del conversor y el controlador de carga.

El sensor de corriente tiene una conexión directa con el datalogger, donde a través del módulo de la tarjeta micro SD, donde almacena los datos de corriente, voltaje y potencia.

La programación del datalogger está configurada para registrar y almacenar datos cada segundo del día durante los 365 días del año.

La descarga de datos es realizada todos los días a las 8:00 am con la finalidad de que la tarjeta micro SD no se llene de datos. Durante este periodo de tiempo es posible que se pierdan datos en el transcurso de la operación, para evitar ese riesgo se realiza el intercambio de la tarjeta por otra tarjeta libre

El rendimiento de un aerogenerador de baja potencia se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$Rend. = \left(\frac{Potencia\ generada}{Potencia\ diseño} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde la potencia generada es la cantidad de energía eléctrica que produce el aerogenerador, medida en vatios (W) o kilovatios (kW) y la potencia disponible es la cantidad de energía cinética del viento que incide sobre el aerogenerador, medida en vatios (W) o kilovatios (kW).

La ecuación para calcular el factor de planta de un aerogenerador de baja potencia es la siguiente:

$$(2) \quad FP = \left(\frac{\text{Energia generada}}{\text{Potencia nominal} * \text{horas totales}} \right) * 100$$

Donde la energía generada es la sumatoria de la potencia generada por el aerogenerador en el transcurso del día, medida en watios-hora (Wh) y la potencia nominal es la capacidad de generación máxima del aerogenerador, medida en watios (W) multiplicado por las horas del día.

Para calcular el potencial eólico del viento se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde: el C_p que es el coeficiente de potencia que se encuentra en función de las dimensiones del aerogenerador, ρ que es la densidad del aire, A que es el área de barrido del aerogenerador, C_b (adimensional) que es el coeficiente de Betz y V (m/s) la velocidad del viento.

3 | RESULTADOS

Los datos descargados del datalogger corresponden del día 26 de mayo desde las 13:00:40 hasta el día 12 de junio a las 00:00:00, configurados para cada segundo del día, por lo que se necesita realizar un cálculo promedio para cada hora, como se muestra en la Figura 8.

Con la ecuación (3), se calcula la velocidad del viento tomando en cuenta los siguientes valores:

P : (Watts), C_p : 0.44 (adimensional), ρ : 0.8070 (kg/m³), A : 1.16 (m²), C_b : 0.5925 (adimensional) y V (m/s). Los resultados del viento se muestran en la tabla 6.

Con la ecuación (1), se calcula el rendimiento del aerogenerador en función de su diseño que es de 300 Watts. Los resultados del viento se muestra en la tabla 7

Con la ecuación (2) se calcula el factor de planta diario en función de las horas del día.

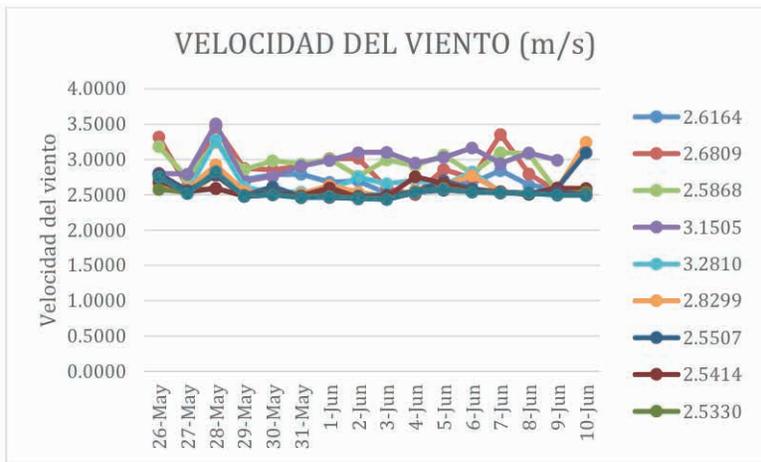


Figura 6 - Resultados de la velocidad del viento

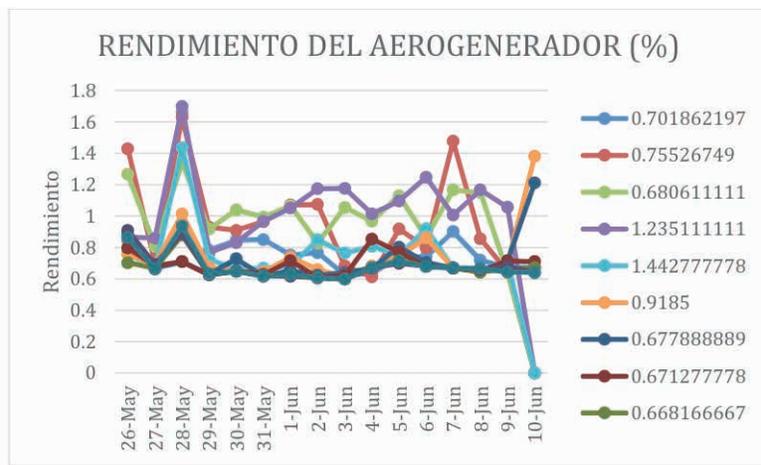


Figura 7 - Resultados del rendimiento del aerogenerador

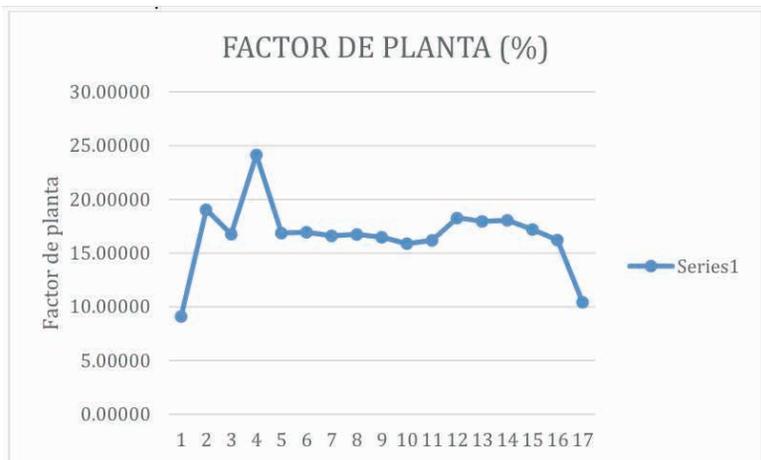


Figura 8 - Resultados del factor de planta

4 | CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos podemos llegar a las siguientes conclusiones:

La velocidad del viento registrada durante los 17 días que duro el registro de datos en el datalogger, nos muestra que la velocidad del viento es muy baja, por lo que se recomienda hacer una evaluación más extensa, 1 año, para poder obtener resultados a largo plazo que nos permita identificar con mayor amplitud la variación de la frecuencia de viento en el transcurso del año evaluando las condiciones en las diferentes estaciones del año.

Producto de la baja velocidad registrada, los niveles de producción también son muy bajos con respecto a los valores indicados por el fabricante lo que ocasiona el bajo rendimiento del aerogenerador.

El factor de planta en condiciones normales no supera más del 25 % lo que nos quiere indicar que se requiere de una mayor velocidad del viento para que se pueda incrementar dicho valor.

En la zona de Santa María de Ayabacas, ubicada en la zona norte de la ciudad de Juliaca, durante el periodo de registro la velocidad del viento no cumple con la velocidad mínima para la instalación de un parque eólico. Con un registro de datos a largo plazo, talvez podemos concluir que si es factible la instalación de parque eólico en la zona.

REFERENCIAS

Abdessamie, H. (2021). Diseño de cargador de baterías fotovoltaicas y eólico para 396 aplicaciones de IOT . Cartagena.

Bath, A. (2023). Global Wind Energy Council. Obtenido de <https://gwec.net/globalwindreport2023/>

Buenaños, J. (2015). Revisión de las especificaciones técnicas y elaboración del protocolo de medida y monitoreo de un sistema de generación eólica de baja velocidad. . Medellín.

Estrada, C. (2015). Estudio del comportamiento del recurso eólico para caracterizar la generación de energía con generadores eólicos de eje horizontal en la ciudad de Piura. Lima.

Franco, R. (2022). Diseño e implementación del sistema de adquisición de datos de un aerogenerador con cargas para el estudio de potencial eólico en la UNSAAC. Cusco.

García, A. (2022). Estudio del recurso eólico, cálculo de estelas e implantación preliminar de un parque eólico en Aciberos (Zamora). Obtenido de https://oa.upm.es/72091/3/TFM_Alvaro_Garcia_Bermudez_de_Castro.pdf

Hernández, R. (2014). Metodología de la investigación . Mc Graw-Hill. 22

Islam, S., Nayar, C., & Hasan, M. (2018). Power Electronics for Renewable Energy Sources. Butterworth Heinemann.

Jimenes, R. (2018). Estudio de viabilidad tecnica de un mini parque eolico de 9kW conectado a la red electrica Puno, en el sector de ventilla Alto Puno-Departamento de Puno. Puno.

MINEM. (2010). DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGIAS RENOVABLES. Lima: El Peruano.

MINEM. (2016). Atlas eolico del Peru. Lima: Vortex.

Quiñonez, J. (2015). Evaluacion de los recursos eolico y solar en la ciuda de Juliaca de la region Puno. Puno.

Tapia, J. (2020). Distribucion de Weibull para determinar el potencial eolico . Arequipa.

UNED. (2015). Orientacion por medio de la rosa de los vientos . Colombia.

Valdiviezo, P. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP. Lima.

Vasquez, A., Tamayo, J., & Vilches, C. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Obtenido de OSINERGMIN: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf

Vidal, R. (2014). Evaluacion del recurso eolico en la universidad tecnologica de ciudad Juarez. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/684/1/Tesis%20Rafael%20Vidal%20Herrera.pdf> 23

Warchomicka, N., Palese, C., Pedro, G., Mattio, H., & Lassig, J. (2005). Evaluacion del recurso eolico del departamento confluencia de la provincia del Neuquen. ASADES, 39-44.

Yancachajlla , U., Taipe, C., & Gallegos, J. (2019). Estimacion del Potencial Energetico Eolico para la Ciudad de Juliaca,Peru. Ñawparisun,15.