

Microgeneración de energía eólica en un entorno boscoso en Costa Rica: estudio de caso

Micro wind power generation in a Costa Rica's forested area: a case study

Karina Torres-Castro¹, Cindy Torres-Quirós²,
Gustavo Richmond-Navarro³

Fecha de recepción: 21 de abril de 2020
Fecha de aprobación: 18 de agosto de 2020

Torres-Castro, K; Torres-Quirós, C;
Richmond-Navarro, G. Microgeneración de energía eólica en un entorno boscoso en Costa Rica: estudio de caso. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 61-69.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5063>



- 1 Profesión Ingeniería Química. departamento de Ingeniería Electrica y de Computacion. Universidad de Virginia. Estados Unidos.
Correo electrónico: kt2fe@virginia.edu
 <https://orcid.org/0000-0001-9959-6040>
- 2 Profesión Ingeniería Química. Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico cindy.torres@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-8312-0814>
- 3 Profesión Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico grichmond@tec.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-5147-5952>

Palabras clave

Turbina eólica; zona boscosa; producción energética; energía renovable; estudio de caso.

Resumen

Se presenta un estudio de caso en Costa Rica sobre instalación y medición de la producción energética de una turbina eólica. Se trata de un aerogenerador de eje horizontal, 5 aspas y 3 kW, instalado a 18 metros de altura en una zona boscosa. Se selecciona un micro beneficio de café y se calcula la producción energética teórica en el punto de interés. Posteriormente se realiza la instalación de la turbina y se mide su producción energética. También se instala una estación meteorológica para registrar la velocidad del viento mensual promedio.

Durante los ocho meses que se extendió el estudio, se obtuvo una generación distribuida de 225,76 kWh. Lo que implicó tan solo un 37,75 % de la cifra estimada de 598 kWh según modelos teóricos. Se concluye que el aerogenerador de 3 kW utilizado no se ajusta a las condiciones técnicas del sitio en estudio. Además, que la predicción del recurso eólico sin mediciones en sitio es poco representativa para el punto geográfico de interés.

Keywords

Wind turbine; forested area; energy production; renewable energy; case study.

Abstract

This work aims to describe a case study on the installation and energy assessment of a micro wind turbine as a renewable energy alternative. The system consisted of a horizontal axis wind turbine, five blades, and 3 kW. It was installed 18 meters above ground level in a forested area. A micro coffee producer was selected, and the theoretical energy generation at the site area was estimated. Subsequently, the turbine was installed, and its energy production is measured. A weather station was also installed to record the average monthly wind speed.

During the eight months that the study was conducted, it was obtained 225,76 kWh. According to theoretical models, it meant 37,75% less energy of the expected 598 kWh. It is concluded that the 3 kW wind turbine rated wind speed does not match the actual wind speed in the specific location. In addition, the prediction of the wind resource could be improved with on-site measurements.

Introducción

El viento es una importante fuente de energía en Costa Rica y el mundo. La potencia eólica instalada a nivel global, para finales del 2018 alcanzó 597 GW [1]. En 2015 se alcanzó en el mundo una cifra de 945 MW en turbinas eólicas de pequeña escala, alrededor de 1 millón de unidades instaladas [2]. En el caso de Costa Rica, actualmente existen 18 parques eólicos con un total de 343 turbinas, con potencias que van de los 410 kW hasta los 3 MW, para un total instalado de 407 MW, lo que representa más del 10 % de la matriz eléctrica nacional [3], [4], [5], [6].

En cuanto a turbinas eólicas de pequeña escala, definidas según la *International Electrotechnical Commission* IEC 61400-2 como aquellas con rotores de menos de 8 metros de radio [7], son poco comunes en Costa Rica. Se pueden citar aerogeneradores de pequeña escala de eje horizontal como los instalados en 2019 en el colegio COVAO de Cartago, o las turbinas de eje vertical instaladas para iluminación, junto con paneles solares, en Grecia de Alajuela [8].

La escasa cantidad de turbinas eólicas de pequeña escala instaladas en Costa Rica, contrasta con lo indicado en [9], en cuanto a que son una fuente de energía confiable, incluso con valor socio económico en los países en desarrollo. Esto puede ser debido a su costo inicial y coste de mantenimiento, así como bajo desempeño aerodinámico [10]. Otra posible razón es que en el mercado es común encontrar turbinas eólicas de pequeña escala que ofrecen una curva de desempeño mejor que el máximo posible [11], lo que se traduce en resultados muy por debajo de los esperados.

Existen estudios de caso de microgeneración eólica en países como Nueva Zelanda [12], Irán [13] y Turquía [14] donde las turbinas poseen una potencia entre 3 kW y 10 kW, así como otras investigaciones en la Unión Europea con turbinas de pequeña escala desde los 2,5 kW [15]. Según el mejor conocimiento de los autores, no se encuentra documentado un estudio de caso de la operación y rendimiento de una turbina eólica de pequeña escala en Costa Rica.

El objetivo de esta investigación es presentar, por vez primera en Costa Rica, la experiencia de la instalación de una micro turbina eólica de eje horizontal en un beneficio de café, mostrando los resultados experimentales de la velocidad del viento y del rendimiento del aerogenerador durante ocho meses.

Metodología

En primera instancia se define el punto de instalación de la micro turbina eólica que se analizará en este estudio de caso. Para el sitio se estima la velocidad del viento y se calcula la producción de energía teóricamente. Luego se instala un equipo de medición de velocidad del viento y un aerogenerador de 3 kW acoplado a la red eléctrica para medir y aprovechar la energía producida por la turbina.

Punto de instalación

Se definió como sitio para el estudio de caso el micro beneficio Undecaf, en San Isidro de León Cortés, Costa Rica. La ubicación en el país y una imagen satelital del punto exacto de instalación de la turbina se muestra en la figura 1, en las coordenadas $9^{\circ} 40' 29,75''$ N, $84^{\circ} 04' 51,19''$ W, con una elevación de 1669,1 m sobre el nivel del mar.

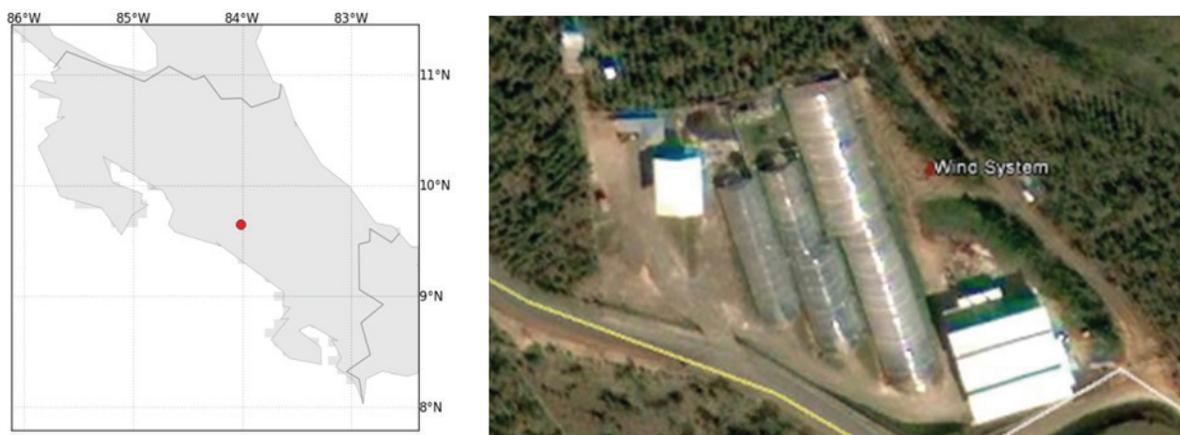


Figura 1. Punto de instalación de la turbina eólica.

Estimación del recurso eólico

Para estimar el recurso eólico en la localidad se utilizó como referencia la velocidad del viento a 50 metros de altura según datos de la NASA [16]. Considerando que la turbina operará a 18 metros, es necesario calcular la velocidad a esa altura sobre la superficie. Para ello se utilizó el perfil de velocidades logarítmica mostrada en la ecuación 1, que relaciona la velocidad a dos diferentes alturas sobre el suelo [17]:

$$V = V_r \left(\frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_r}{z_0}\right)} \right) \quad (1)$$

Donde V es la velocidad a la altura h , V_r es la velocidad de referencia a una altura h_r . En este caso la V_r es obtenida de los datos de la NASA con $h_r = 50$ m. El valor z_0 es conocido como longitud de rugosidad y es característico del terreno. Para esta investigación fue tomado del Centro de Estudio de los Recursos Energéticos CERRE, de la Universidad de Magallanes [18].

Cálculo de la producción de energía

La energía teórica que puede ser capturada por una turbina en operación se obtiene al multiplicar el tiempo de operación por la potencia capturada por la turbina en ese tiempo. Usualmente la energía no se calcula en las unidades estándar del Sistema Internacional, sino en kilowatt-hora (kWh), debido a que es la unidad de medida que emplean los distribuidores de potencia eléctrica en Costa Rica, como se muestra en ecuación 2.

$$E_{kWh} = P_{kW} t_h \quad (2)$$

Donde E_{kWh} es la energía en kWh, P_{kW} es la potencia capturada por la turbina en kW y t_h es el tiempo de operación a esa potencia, en horas.

La potencia teórica a la que operará la turbina se obtiene a partir de la potencia máxima contenida en el viento [19] y la eficiencia de la turbina, como se muestra en la ecuación 3.

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

Donde P es la potencia (en W en este caso), ρ es la densidad del fluido (kg/m^3), A es el área del rotor (m^2), V es la velocidad del viento (m/s) y η es la eficiencia de la turbina.

Instalación de la turbina y mediciones

La medición de la velocidad del viento se realizó mediante la instalación de una estación meteorológica, que permite conocer la velocidad y dirección del viento además de la presión atmosférica, precipitación, humedad relativa y temperatura del sitio en estudio. Tanto el anemómetro como la turbina eólica se instalaron a 18 metros sobre el nivel del suelo.

Las características de la turbina eólica instalada se presentan en el cuadro 1. Dado que no se dispone de la curva de potencia del fabricante, pero sí de la indicación que la potencia máxima se da entre 13 m/s y 14 m/s, se calcula la eficiencia de la turbina considerando que los 3 kW de

potencia nominal son a una velocidad de viento de 13,5 m/s a nivel del mar. En este caso, se compara la potencia disponible en el viento con los 3 kW nominales de la turbina y se obtiene una eficiencia del 27,25 % para el aerogenerador.

Cuadro 1. Características del aerogenerador eólico.

Potencia	3000 W
Velocidad de arranque	2,5 m/s
Velocidad máxima	60 m/s
Número de aspas	5
Material de las aspas	Fibra reforzada de vidrio-nylon
Diámetro del rotor (m)	3,05
Material del generador	Aleación de aluminio en el cuerpo y acero inoxidable de precisión en el rotor.

Para la instalación de la turbina eólica, Coopesantos donó e instaló la torre, incluyendo la cimentación y los cables tensores. La compañía Purasol instaló propiamente la turbina en la torre y los demás componentes del sistema eólico. El personal de Undecaf se encargó de hacer los canales subterráneos que conectan la turbina con el lugar donde se encuentra el rectificador, la caja de disipación de calor y el inversor.

En la figura 2 se muestra el proceso de instalación de la turbina y en la figura 3 se aprecia la turbina en operación, en un entorno boscoso.



Figura 2. Proceso de instalación de la turbina eólica.

Una vez instalada la turbina eólica, Coopesantos fue el responsable de instalar un medidor bidireccional capaz de registrar la energía que se envía a la red por parte del generador eólico, así como la energía total consumida por el micro beneficio.



Figura 3. Turbina eólica de 3kW instalada en un entorno boscoso a 18 m de altura [20].

Resultados y discusión

El equipo estuvo a punto a partir del mes de julio de 2013, por lo que el periodo experimental se extiende desde ese mes hasta febrero de 2014.

Los resultados comparativos de la velocidad del viento medida experimentalmente y la estimada según la ecuación 1 con los datos de [16] se presentan en la figura 4. Destaca una sobre estimación del recurso eólico en el cálculo teórico. Se observa también que la tendencia si es capturada adecuadamente salvo en el mes de diciembre de 2013, cuando según la predicción teórica se esperaba un aumento en la velocidad promedio mensual, pero en el resultado experimental se obtuvo una reducción. Esta notable diferencia puede ser debida a los micro climas que se presentan en Costa Rica.

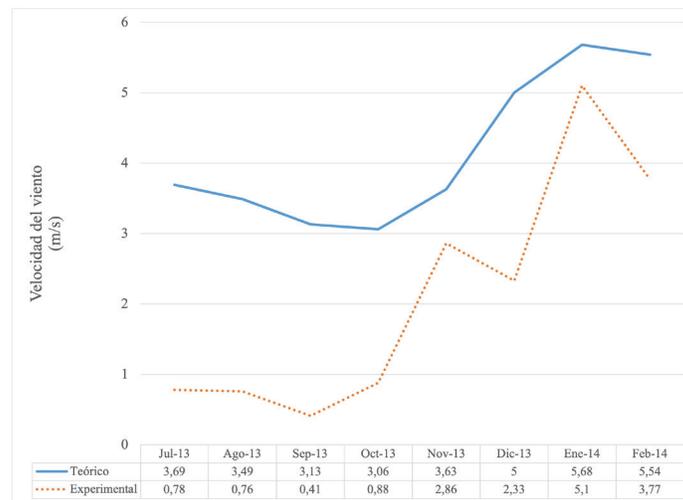


Figura 4. Resultados teóricos y experimentales de la velocidad del viento.

La captura de pantalla del software que censó la producción de energía de la turbina eólica se muestra en la figura 5. Nótese que en la figura 5 se utiliza el punto como separador decimal.

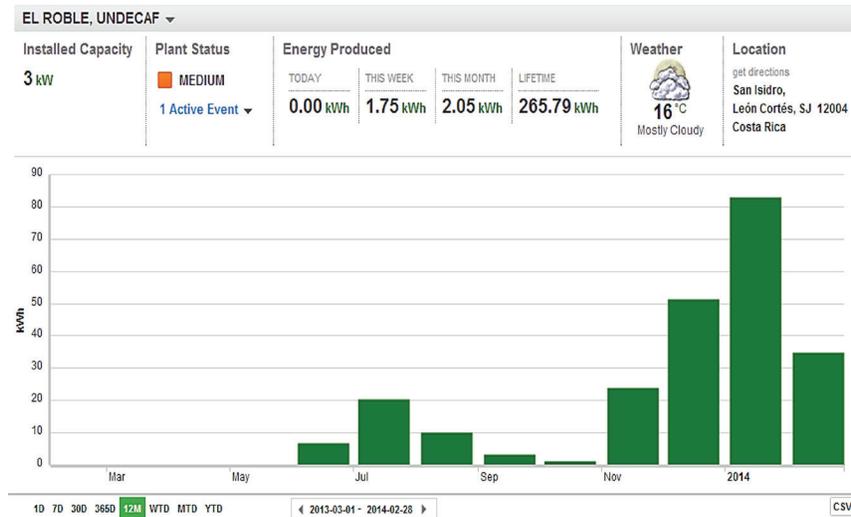


Figura 5. Captura de pantalla del software de censado del aerogenerador.

Los resultados comparativos de los datos experimentales de la energía entregada por la turbina eólica y los cálculos de la energía teórica según las ecuaciones 2 y 3 se presentan en la figura 6. Se evidencia que la producción de energía es mucho menor que la calculada teóricamente, lo cual obedece a que el recurso eólico es menor que el estimado, según los resultados de la velocidad del viento.

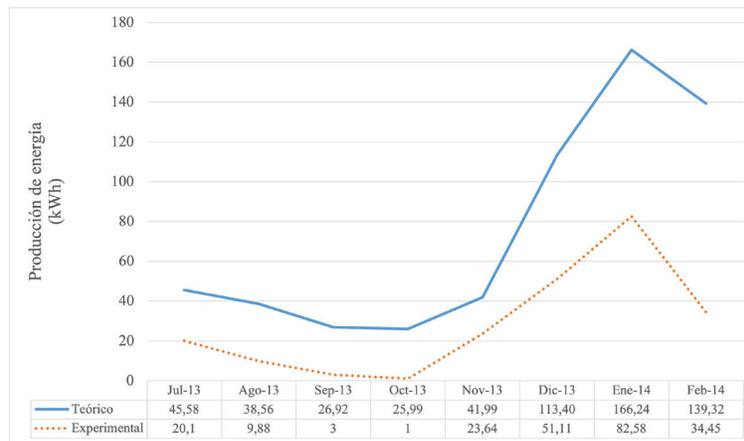


Figura 6. Resultados teóricos y experimentales de la producción de energía

Una vez más es posible notar que los resultados experimentales siguen la tendencia de los teóricos, sin embargo, la diferencia es abrumadora, en el mes de enero, por ejemplo, la producción de energía es de menos del 50 % de lo esperado, a pesar que según se muestra en la figura 4, en enero la predicción de velocidad de viento fue muy cercana al resultado experimental.

El total de energía obtenida experimentalmente durante los ocho meses fue de 225,76 kWh, tan solo un 37,75 % de la cifra esperada de 598 kWh.

Entre noviembre y febrero el micro beneficio tiene los máximos de producción y de consumo eléctrico. Una característica positiva de los resultados, tanto del recurso eólico como de la producción energética, es que sus valores máximos coinciden con el periodo de mayor demanda del micro beneficio.

Conclusiones

En esta investigación se presenta el funcionamiento real de una turbina eólica de pequeña escala en un ambiente boscoso, mediante un estudio de caso en un micro beneficio de café en Costa Rica. Producto del análisis teórico del recurso eólico y el posterior procesamiento de los resultados experimentales de la velocidad del viento y la potencia capturada por la turbina eólica, se proponen las siguientes conclusiones:

- Los datos de NASA junto con el modelo de perfil de viento logarítmico no reproducen de forma fiel la realidad del sitio, pues la velocidad del viento medida es mucho menor que la calculada.
- La producción de energía fue mucho menor que la esperada, tan solo se alcanzó el 37,75 % de los kWh calculados en total durante los ocho meses de estudio.
- Los resultados sugieren que el recurso eólico en entornos boscosos no puede ser calculado mediante proyecciones teóricas, sino que debe ser medido experimentalmente antes de realizar la inversión en una turbina eólica.
- La turbina eólica seleccionada posee una velocidad nominal que es mucho mayor que las velocidades promedio del sitio en estudio, por lo que se concluye que se requiere una turbina eólica cuya curva de potencia se ajuste a las condiciones técnicas del sitio.

Adicional a las conclusiones indicadas, vale destacar como lección aprendida, la necesidad de un adecuado sistema de puesta a tierra para el correcto funcionamiento de los inversores que transforman corriente directa entregada por el aerogenerador a corriente alterna propia de la red eléctrica.

Agradecimientos

Nuestro especial reconocimiento a la iniciativa “Energy and Climate Partnership of the Americas”, liderada por el Departamento de Estado de los Estados Unidos, cuya instancia proporcionó el financiamiento para el presente estudio, como parte del proyecto “Modelo Energético Sostenible: Caso de estudio Producción de Café en Centroamérica”. Extendemos además nuestro agradecimiento al micro beneficio Undecaf, a la empresa distribuidora de electricidad Coopesantos, por su participación y colaboración durante la experimentación.

Referencias

- [1] World Wind Energy Association, «Wind Power Capacity Worldwide Reaches 597 GW, 50,1 GW added in 2018,» 04 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://wwindea.org/blog/2019/02/25/wind-power-capacity-worldwide-reaches-600-gw-539-gw-added-in-2018/>. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].
- [2] World Wind Energy Association, «WWEA released latest global small wind statistics,» 02 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://wwindea.org/blog/2017/06/02/wwea-released-latest-global-small-wind-statistics/>. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].
- [3] G. Richmond-Navarro, G. Murillo-Zumbado, P. Casanova-Treto y J. F. Piedra-Segura, «Estado actual de la investigación sobre turbinas eólicas en Costa Rica,» *Tecnología en Marcha*, vol. 32, nº 2, pp. 54-67, 2019.
- [4] J. Garza, «Costa Rica supera los 400 megavatios de capacidad eólica instalada,» *La Reública*, 16 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-supera-los-400-megavatios-de-capacidad-eolica-instalada>. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].
- [5] «Parque Eólico Cacao de Coopeguanacaste beneficiará a más de 20000 hogares guanacastecos,» *Periódico Mensaje*, 10 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.periodicomensaje.com/cantoniales/3298-parque-eolico-cacao-de-coopeguanacaste-beneficiara-a-mas-de-20-000-hogares-guanacastecos>. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].

- [6] «The Wind Power Wind Energy Market Intelligence.» [En línea]. Available: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_27454_rio-naranjo.php. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].
- [7] International Electrotechnical Commission (IEC), «IEC 61400-2. Wind turbines – Part 2: Small wind turbines,» vol. 3, p. 278, 2013.
- [8] Repretel, «Primeros postes de energía eólica se instalaron en Grecia,» 22 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <http://www.repretel.com/actualidad/primeros-postes-energia-eolica--instalaron--grecia-134489>. [Último acceso: 01 Diciembre 2019].
- [9] A. Tummala, R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indrāja y V. H. Krishna, «A review on small scale wind turbines,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 1351-1371, 2016.
- [10] W. M. Okita y K. A. Ismail, «Aerodynamic assessment of airfoils for use in small wind turbines,» *Advances in Energy Research*, 6(1), , vol. 6, n° 1, pp. 35-54, 2019.
- [11] Z. Simic, J. G. Havelka y M. B. Vrhovcak, «Small wind turbines—A unique segment of the wind power market,» *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 1027-1036, 2013.
- [12] A. J. Bowen, N. Zakay y R. L. Ives, «The field performance of a remote 10 kW wind turbine,» *Renewable energy*, vol. 28, n° 1, pp. 13-33, 2003.
- [13] A. Pourrajabian, M. Mirzaei, R. Ebrahimi y D. Wood, «Effect of air density on the performance of a small wind turbine blade: A case study in Iran,» *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 126, pp. 1-10, 2014.
- [14] L. Bilir, M. Imir, Y. Devrim y A. Albostan, «An investigation on wind energy potential and small scale wind turbine performance at İncek region—Ankara, Turkey,» *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 910-923, 2015.
- [15] M. Bortolini, M. Gamberi, A. Graziani, R. Manzini y F. Pilati, «Performance and viability analysis of small wind turbines in the European Union,» *Renewable Energy*, vol. 62, pp. 629-639, 2014.
- [16] NASA, «Atmospheric Science Data Center,» [En línea]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov>. [Último acceso: 10 Junio 2014].
- [17] M. O. Hansen, *Aerodynamics of wind turbines.*, Routledge, 2015.
- [18] Universidad de Magallanes, «Centro de Estudio de los Recursos Energéticos,» [En línea]. Available: <http://www.cere-umag.cl/>. [Último acceso: 10 Junio 2014].
- [19] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins y E. Bossanyi, *Wind energy Handbook*, England: John Wiley & Sons, 2001.
- [20] K. O'neal Coto, «Energías limpias son viables en industria del café,» Oficina de Divulgación e Información, UCR., 10 Junio 2014. [En línea]. Available: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2014/06/10/energias-limpias-son-viables-en-industria-del-cafe.html>. [Último acceso: 02 Diciembre 2019].