

Análisis experimental sobre la aplicación de flaps en generadores eólicos de eje vertical

Experimental analysis on the application of flaps on vertical axis wind turbines

Presentación: 02/08/2024

Doctorando:

Julián César ESPECHE

Grupo de Ingeniería y Multifísica Aplicada, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca. Argentina
julianespeche@frbb.utn.edu.ar

Director:

César Martín SARAVIA

Codirector:

Sebastián MACHADO

Resumen

Una posible mejora de los generadores eólicos de eje vertical es el agregado de flaps verticales en la parte trasera de las palas. Simulaciones computacionales realizadas con modelos híbridos RANS-LES muestran que su implementación produce efectos positivos sobre la generación de potencia del rotor. Para comprobar esos resultados, construimos rotores eólicos con impresión 3D y estudiamos su comportamiento en un túnel de viento. Lo que observamos experimentalmente es que los flaps influyen negativamente sobre el comportamiento de los generadores, disminuyendo su capacidad de generación de potencia.

Palabras clave: Energía Eólica, Mediciones Experimental, Generadores de Eje Vertical

Abstract

An improvement that can be applied on vertical axis wind turbines consists in adding a vertical flap en end of its blades. Computational simulations made with a hybrid RANS-LES model show that implementing this positively affects the power generation capacity of the turbine. To test these results, we built wind turbines with 3D printing and studied their behavior in a wind tunnel. We observed that flaps have a negative influence over the rotor performance, decreasing their power generating capacity.

Keywords: Wind Energy, Experimental Measurements, Vertical Axis Wind Turbine

Introducción

Reducir el consumo energético y la dependencia de las fuentes de energía tradicionales se ha convertido en una necesidad frente al cambio climático y la extensiva explotación de los recursos naturales. En este contexto, los sistemas autónomos energizados por fuentes alternativas pueden funcionar en lugares remotos o en conjunto con los tendidos eléctricos domésticos, reduciendo la carga sobre estos últimos.

Una posible fuente alternativa son los generadores eólicos de eje vertical, ya que pueden funcionar con cualquier dirección de viento y en una amplia variedad de velocidades de rotación. En los últimos años se han realizado múltiples estudios y simulaciones numéricas sobre el comportamiento de los rotores tipo Darreius (Kumar 2019), híbridos (Miliket, 2022), y Savonious (Cuevas-Carvajal 2022).

Una de las opciones evaluadas es la implementación de flaps sobre las palas del rotor. Como por ejemplo los resultados de las simulaciones numéricas con un modelo híbrido RANS-LES realizadas por Syawitri (Syawitri, 2022) muestran un aumento en la potencia generada por los rotores luego de aplicarles un flap en el borde fuga del perfil. La magnitud del aumento era mayor en bajos valores del TSR (Tip Speed Ratio), que es la relación entre la velocidad del rotor y la del viento, y cuando el flap está ubicado en el lado externo del generador.

Desarrollo

En primer lugar, construimos turbinas eólicas de eje vertical híbridas, con técnicas de impresión 3D. Los generadores se imprimen en partes, una masa central, 3 palas verticales que pueden tener la geometría de 2 perfiles distintos y 3 soportes semicirculares que generan arrastre. Cada pieza incluye encastres para que puedan ser ensamblados fácilmente.

El material utilizado es ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ya que sus propiedades mecánicas se adaptan bien a las necesidades del problema y es un material que puede ser lijado y tratado químicamente en su superficie para asegurar que no haya imperfecciones en la misma que afecten negativamente el funcionamiento del rotor.

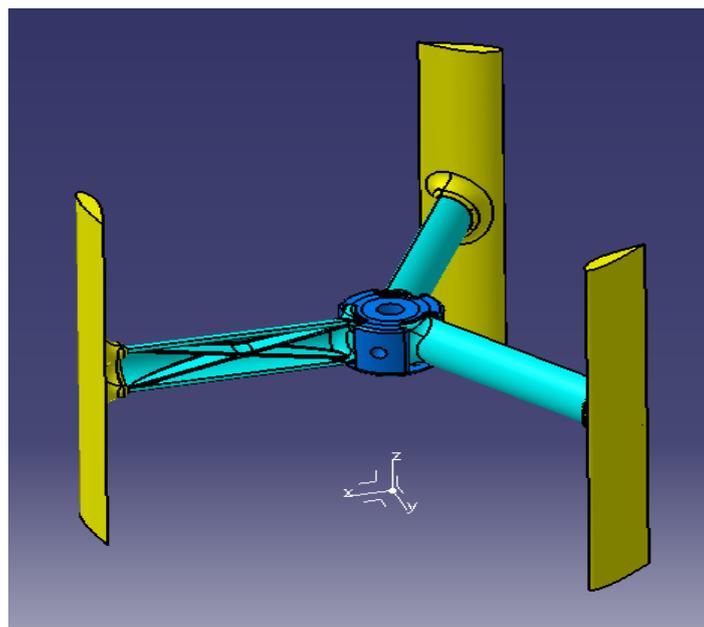


Fig. 1. Representación gráfica del generador híbrido

En las palas de los rotores utilizados dos perfiles distintos. Utilizamos un perfil simétrico que suele ser utilizado en aplicaciones comerciales actualmente, NACA 0018, y otro perfil asimétrico, AH93W215. Este segundo perfil genera similares magnitudes de fuerzas de sustentación, pero más arrastre que los perfiles simétricos.

Los rotores tienen 100 mm de radio, 180 mm de alto y las palas tienen una longitud de cuerda de 25 mm. Los soportes semicirculares tienen 20 mm de radio y cuenta con refuerzos para evitar flexiones excesivas o fallas mecánicas. Los flaps que incluimos en la segunda serie de mediciones tienen un espesor de 1 mm y una altura de 2.5 mm.

Las mediciones las realizamos en un túnel de viento que tiene 5 metros de largo, un motor de 2 HP, un regulador de velocidad y cuya cámara de evaluación es un cubo que tiene 0.5 m por lado. El centro de la cámara esta

atravesado por una varilla de aluminio de 8 mm de diámetro, que actúa como eje del rotor, y a la cual unimos la masa central de los generadores fabricados. Antes de realizar las mediciones, con un tubo de Pitot determinamos que la velocidad de viento alcanzada en la cámara puede llegar a 10 m/s.

En un extremo del eje colocamos un encoder óptico para registrar la velocidad del eje. Mientras que en el extremo opuesto colocamos una rueda inercial, que aplica un torque resistivo constante sobre el rotor. La rueda fue fabricada también con impresión 3D, utilizando PLA (Poly Lactid Acid) como material. La rueda posee un diámetro de 360 mm y perforaciones donde se pueden hasta 32 esferas de metal de 10 mm de diámetro. Conociendo las velocidades angulares (α) y el torque aplicado (T) podemos, podemos conocer la potencia generada por el rotor (P) con la siguiente ecuación:

$$P = \alpha \cdot T$$

El torque aplicado por la rueda inercial es igual al momento de inercia de la rueda y de las esferas. El momento de inercia de la rueda lo determinamos matemáticamente y es igual a 0.018 Kg/m². Mientras que el torque generado por las esferas lo determinamos multiplicando su masa por el radio de acción por la cantidad utilizada (n).

$$T = 0.018 + 0,0012 \cdot n$$

En la primera medición que realizamos, montamos el generador híbrido con la geometría de los perfiles sin modificar para evaluar su comportamiento. Luego, en una segunda medición, montamos otro rotor con las palas modificadas con flaps en el lado exterior del rotor. Mientras que, en la medición final, ubicamos el flap en el lado interno del perfil.

Resultados

Procesamos las velocidades angulares determinadas por el encoder durante las mediciones con una rutina escrita en python. El primer objetivo es filtrar los valores medidos, ya que la resolución es muy alta, alrededor de 50 mediciones por segundo. Luego derivamos numéricamente los datos poder conocer la aceleración angular.

Como se observa en la Fig. 2, durante la medición el generador se acelera hasta lograr un máximo de potencia, para luego estabilizarse en una velocidad máxima, cercana a 1200 rpm. Desde ese punto, variaciones pequeñas de velocidad en intervalos muy pequeños de tiempo generan grandes saltos en la potencia generada. Es por esto que las curvas de potencia aumentan casi verticalmente luego de la medición.

La potencia máxima generada por los rotores con el perfil simétrico NACA 0018, por encima de los 5 W, son mayores que los producidos por los rotores con el perfil asimétrico AH93W215, que son cercanas a los 4 W.

En la Fig. 3, mostramos la medición de los rotores híbridos con el flap en el lado externo. Observamos que la aceleración no presenta la misma suavidad que en la medición anterior. La estabilidad del sistema a la velocidad máxima de rotación es menor, no llegando a alcanzar la potencia nula, como si lo fue posible anteriormente.

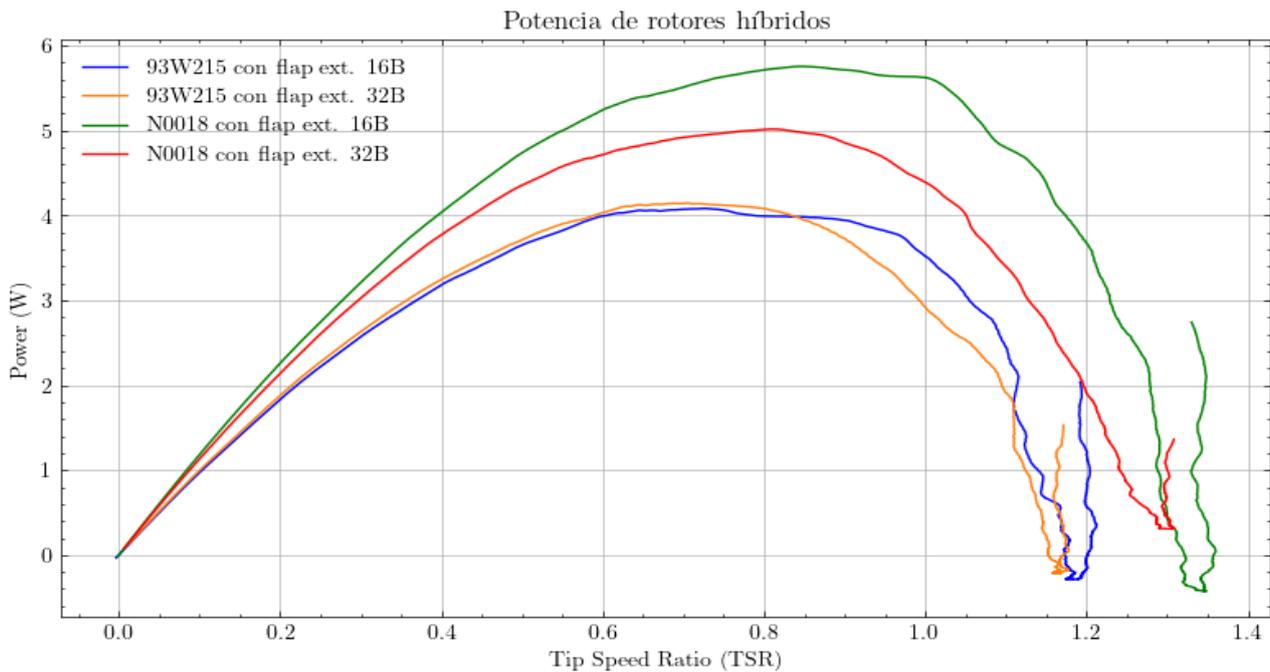


Fig. 2. Curva de potencia en función del TSR para los rotores híbridos.

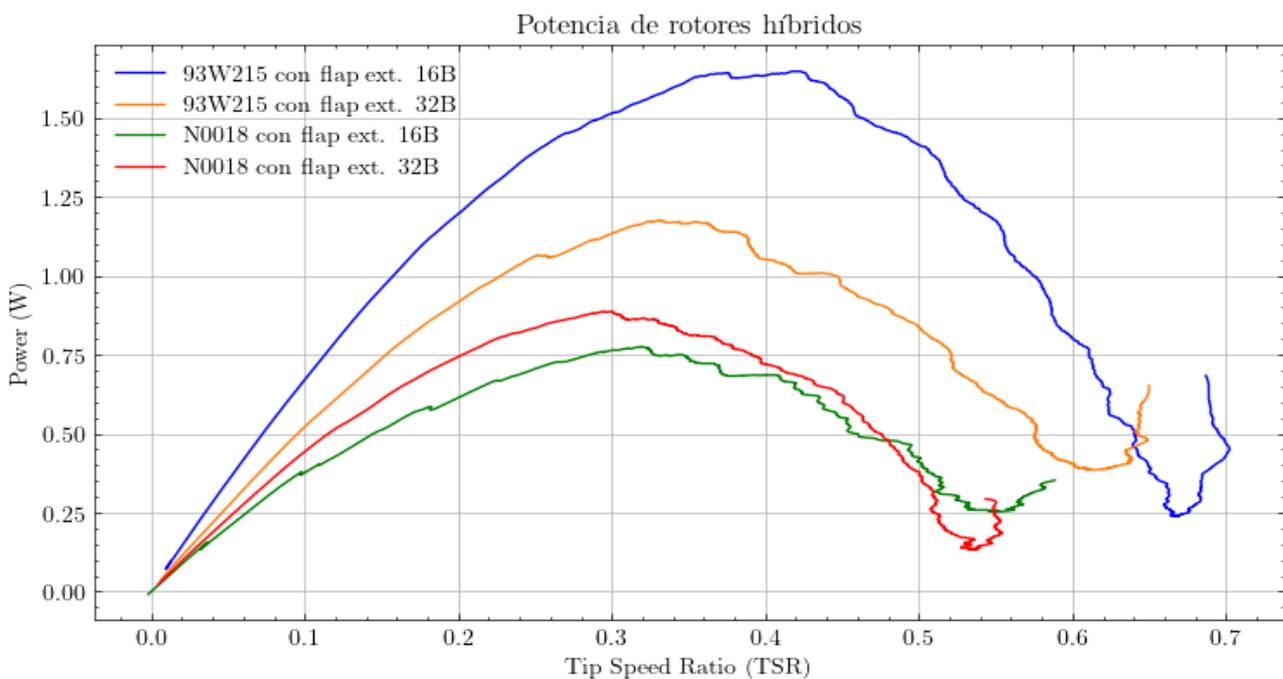


Fig. 3. Curva de potencia en función del TSR para los rotores híbridos con flaps externos.

La inestabilidad del sistema creemos que se debe al corrimiento del centro de presión por la presencia del flap. Las fuerzas aerodinámicas generadas actúan en un punto posterior al centro de masa del perfil. Por tanto, es una componente de la fuerza aerodinámica total la que aplica torque sobre el rotor. A su vez, el flap aumenta el área frontal del perfil, lo que aumenta el arrastre generado por el mismo.

Esta variación del área frontal es menor con el perfil asimétrico y por esto el efecto negativo es menor en estos perfiles que en los simétricos. La potencia máxima generada por los perfiles asimétricos oscila entre 1.1 W y 1.6 W, aproximadamente. Mientras que para el perfil NACA 0018 la potencia generada es cercana a 0.75 W.

Las últimas mediciones, con el flap en lado interno del perfil, están representadas en el Fig 4. Notamos que los efectos negativos observados anteriormente son aún más pronunciados. El sistema presenta más dificultades

para acelerarse y sostener una velocidad de rotación constante. La reducción en la potencia máxima generada es mayor, con el rotor asimétrico alcanzando potencias cercanas a 1 W, mientras que los rotores simétricos apenas alcanzan 0.6 W. Creemos que esto se debe a que la generación de arrastre es mayor en esta configuración. El flap interactúa con el aire turbulento luego de interactuar con los perfiles, lo que genera mayores pérdidas de energía.

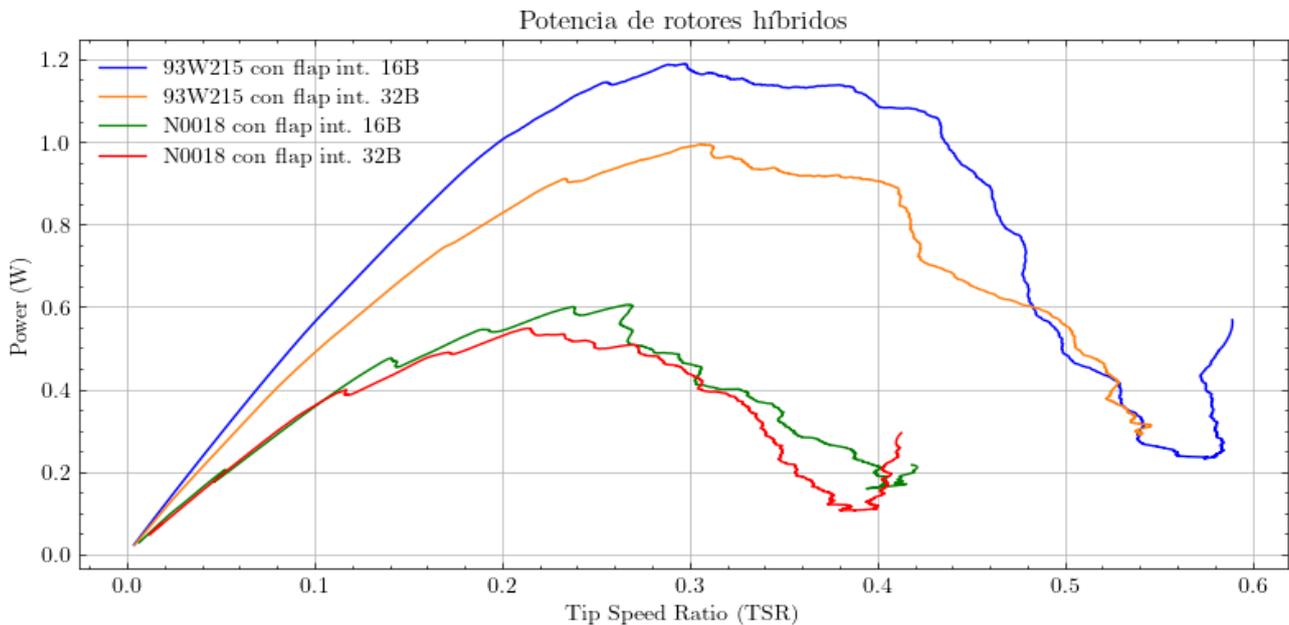


Fig. 4. Curva de potencia en función de la función rotación para los rotores híbridos con flaps externos.

Conclusiones

Al comparar los resultados de las simulaciones computacionales con los resultados experimentales, observamos contradicciones. En ninguna de las dos configuraciones estudiadas hubo un efecto positivo, al contrario de lo predicho por las simulaciones computacionales. Creemos necesario revisar la formulación de los modelos matemáticos usados para representar de mejor manera la dinámica del problema.

Referencias

- Cuevas-Carvajal, N., Cortes-Ramirez, J. S., Norato, J. A., Hernandez, C., Montoya-Vallejo, M.F.. (2022) Effect of geometrical parameters on the performance of conventional Savonius VAWT: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 161, 112314, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112314>.
- Kumar, P.M., Sivalingam, K., Narasimalu, S., Lim, T.-C., Ramakrishna, S. and Wei, H. (2019) A Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Small Wind Turbines. *Journal of Power and Energy Engineering*, 7, 27-44. <https://doi.org/10.4236/jpee.2019.74002>.
- Miliket, T. A., Ageze, M.B y Tigabu, M. T. (2022): Aerodynamic performance enhancement and computational methods for H-Darrieus vertical axis wind turbines: Review, *International Journal of Green Energy*, DOI: 10.1080/15435075.2021.2005605
- Syawitri, T. P., Yao, Y., Yao, J., Chandra, B. (2022) Geometry optimization of vertical axis wind turbine with Gurney flap for performance enhancement at low, medium and high ranges of tip speed ratios, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 49, 101779, ISSN 2213-1388. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101779>.