

Diseño y fabricación de generadores eólicos híbridos de pequeña escala con impresión 3D

Design and fabrication of small scale hybrid wind turbines with 3D printing

Presentación: 4/10/2022

Doctorando:

Julián Cesár Espeche

Grupo de Investigación de Multifísica Aplicada, Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, Bahía Blanca, Buenos Aires-Argentina.

julianespeche@frbb.utn.edu.ar

Director/a:

Martín C. Saravia

Codirector/a:

Sebastián Machado

Resumen

Los generadores de eje vertical son una prometedora opción para la generación de energía local en zonas urbanas. En este artículo, estudiamos la viabilidad de fabricar un generador híbrido Savonius-Darrieus con una impresora 3D. Recurrimos a la teoría unidimensional de Cantidad de Momento de Elemento de Pala y al software QBlade para realizar simulaciones computacionales del desempeño de múltiples perfiles asimétricos en turbinas eólicas de pequeña escala. Caracterizamos su generación y su respuesta dinámica. Estudiamos también las técnicas de impresión 3D posibles para producir prototipos de los generadores simulados, evaluando su tolerancia dimensional, velocidad de impresión, terminación superficial y estabilidad estructural. Concluimos que, entre los perfiles estudiados, encontramos varias opciones viables, ya que poseen un buen torque inicial y una amplia zona operativa para generación de energía. Logramos imprimir generadores híbridos de pequeña escala usando ácido poliláctico y acrílico butadieno estireno, logrando mejores resultados al dividir al rotor en partes.

Palabras clave: Energía Eólica, VAWT, Mecánica de fluidos Computacional, Impresión 3D

Abstract

Small scale vertical-axis wind turbines are a promising candidate for powering urban electronics. In this document, we study the factibility of 3D printing a small scale Darrieus-Savonius wind turbine. We have used CFD and the one-dimensional Blade Element Moment theory and the Qblade software to perform computer simulations and address the performance of several asymmetrical profiles in a small scale VAWT. We characterized the power output and their dynamic response. We also studied the suitability of 3D printing techniques for manufacturing the simulated generators, judging their dimensional tolerance, printing speed, surface quality and their structural stability. We concluded that fabricating small scale hybrid turbines with commonly used materials as polylactic acid and acrylonitrile butadiene styrene is feasible, provided the rotor in divided in parts.

From the studied profiles, we found several viable design options that have a good starting torque and wide operating window for energy generation.

Keywords: Wind Energy, VAWT, Computacional Fluid Dynamics, 3D Printing

Introducción

Debido al sostenido aumento de la población mundial, la demanda energética es cada vez mayor. Sumado a esto, el consumo continuo de las reservas de combustibles fósiles requiere que se encuentren fuentes renovables de energía. Dentro de este grupo la energía eólica ha surgido como una alternativa importante. De hecho, la energía eólica ha estado expandiéndose rápidamente a nivel mundial en los últimos años Nwaigwe (2022); Joselin Herbert et al. (2007).

Este fenómeno también viene ocurriendo en el país, con la continúa construcción de parques eólicos, que se han concentrado principalmente en la Patagonia (Aggio et al. (2018); Giralt (2011)). Sin embargo, estos parques son cada vez más grandes, debido al tamaño de la turbinas eólicas necesarias y a que se necesitan grandes cantidades de terreno debido a las fuertes perturbaciones que se crean en la estela de estos generadores.

Con el objetivo de automatizar sensores o sistemas de iluminación en zonas urbanas o remotas, buscamos diseñar generadores de eje vertical (Vertical Axis Wind Turbine o VAWT) de pequeña escala, los cuales han sido estudiados ampliamente en los últimos años. Kumar y Wei (2019); Loganathan et al. (2017); Victor y Paraschivoiu (2018); Mauro et al. (2019); Ji y Schluter (2011).

Para simular computacionalmente la respuesta dinámica del generador recurrimos a un modelo 2D basado en la teoría de momento de elemento de pala (Blade Element Momentum o BEM) implementada en el software QBlade. Si bien, el modelo de turbulencia RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) es el más utilizado, presenta dificultades para predecir correctamente las fuerzas aerodinámicas involucradas Ramírez et al. (2021).

Sanvito et al. (2021) realizaron simulaciones computacionales con un modelo BEM 3D de un VAWT tipo Darreius y de otro Troposkien, ambos de pequeña escala. Los resultados de las simulaciones fueron comparados con datos experimentales, con diferencias inferiores al 10 % en la potencia y torque generado, al igual a las fuerzas estructurales involucradas.

Por otro lado, la impresión 3D con plásticos ha surgido en el último tiempo como una alternativa accesible y rápida de implementar para la manufactura de partes y prototipos. Sin embargo, una debilidad de este método es la terminación superficial, lo que dificulta la aplicación deseada.

Jayanth et al. (2018) estudiaron el efecto de tratamiento químico en la superficie de piezas impresas con ABS impresas con FDM. Las partes fueron sumergidas en acetona y 1,2-dicloroetano. La suavidad de la superficie fue evaluada cualitativamente mientras que el modulo elástico fue medido. Las piezas tratadas con 1,2 dicloroetano mostraron una mejor terminación superficial, aunque las piezas tratadas con acetona presentaban un mayor módulo elástico que las piezas tratadas con el otro solvente.

Más estudios sobre impresión 3D pueden verse en Wickramasinghe et al. (2020); Garg et al.(2016); Garg (2017)

Desarrollo

En primer lugar definimos la geometría del generador VAWT a diseñar. Comparando las distintas opciones, decidimos construir un rotor híbrido en forma de H. Las palas tienen la forma de un perfil aerodinámico, que genera principalmente fuerza de sustentación y funciona de manera similar a un generador Darreius. Mientras que los soportes, que se unen a la parte central, tienen una forma semicircular, pensados para generar arrastre como un rotor Savonious, especialmente a bajas velocidad de

rotación. Debido a que priorizamos la generación a altas revoluciones, la relación de área entre las palas Savonius y las Darreius quedo establecida en 1:4.

Con la geometría definida, continuamos con la selección del perfil aerodinámico a usarse en las palas del generador. Para ello, recurrimos a simulaciones computacionales del comportamiento dinámico del generador. Utilizando el software QBlade, simulamos computacionalmente las palas del generador para evaluar el rendimiento de distintos perfiles aerodinámicos. El modelo utiliza dos discos actuadores, que siguiendo la dirección del viento, uno se encuentra en el frente del generador y otro en la parte trasera. Durante la simulación se calcula el torque y la potencia generada sobre el área de cada pala que intersecta cada disco. Las palas se encuentran seccionadas en 5 partes, con 50 elementos cada una. Las limitaciones del modelado 2D, como los complejos efectos de flujo tridimensionales, se representan con coeficientes empíricos.

De la gran cantidad de perfiles disponibles, el primero que probamos fue el perfil simétrico NACA 0018, el cual es usado en VAWTs comerciales. Pero debido a las dificultades encontradas durante la fase de arranque del mismo, recurrimos a perfiles asimétricos. Los perfiles asimétricos que evaluamos fueron el AH93W 215, el NACA 23012, el NACA 24112 y el NACA 254112. En todos las simulaciones, adaptamos las dimensiones del generadores al volumen de impresión de la impresora. Fijamos el radio de rotor en 0,1 m, la altura de las palas en 0,2 m y la longitud de cuerda del perfil en 0,05 m.

Para comparar el desempeño de los perfiles, usamos los coeficientes adimensionales de momento (C_m) y de potencia (C_p). El primero es una medida adimensional del torque generado por el rotor, mientras que el coeficiente de potencia indica la eficiencia de generción del generador. Ambos coeficientes se expresan en función de la relación de velocidades de punta (Tip Speed Ratio o TSR), que es la relación entre la velocidad de rotación de una pala y la velocidad del viento.

Con todos los parámetros definidos, procedemos a la construcción del mismo. Para esto, utilizamos una impresora 3D Zortrax M200Plus. En primera instancia dibujamos el generador para que sea impreso en una sola pieza, para evitar trabajos posteriores de ensamblaje. Sin embargo, notamos que de esta manera era muy susceptible a posibles cambios o fallas que se pueden presentar durante una impresión. Por lo que procedimos a dividir el generador en partes que se ensamblarían más tarde.

Para imprimir las piezas utilizamos el plástico ABS, debido a que sus propiedades mecánicas se adaptan bien a la aplicación deseada. Para el relleno de la piezas elegimos hexagonos concéntricos, que minizan el material necesario. Determinamos que el ancho de las capas de plástico sea de 0.014 m. La temperatura del extrusor la fijamos en 245 ° C para asegurar que se funda el plástico, mientras que la temperatura de la camas se fijo en 80° C para asegurar la adhesión de la pieza. El generador se separó en tres palas, que tendrían la forma de alguno de los perfiles aerodinámicos estudiados, tres soportes con forma convexa en la dirección de cuerda del perfil y una masa central que uniría los soportes y contendría a los rodamientos.

Resultados

Inicialmente comparamos el perfil NACA 0018 con el perfil AH93W 215, para comprobar la diferencia entre perfiles simétricos y asimétricos. En la Fig. 1 se muestra el C_m en función del TSR. Observamos una mejora en el torque de arranque para el perfil asimétrico, así como un pico de torque a revoluciones intermedias. Mientras que para el perfil simétrico notamos una zona de torque negativo a bajas revoluciones, lo que podría ser indicativo de las dificultades de auto-arranque que poseen estos perfiles.

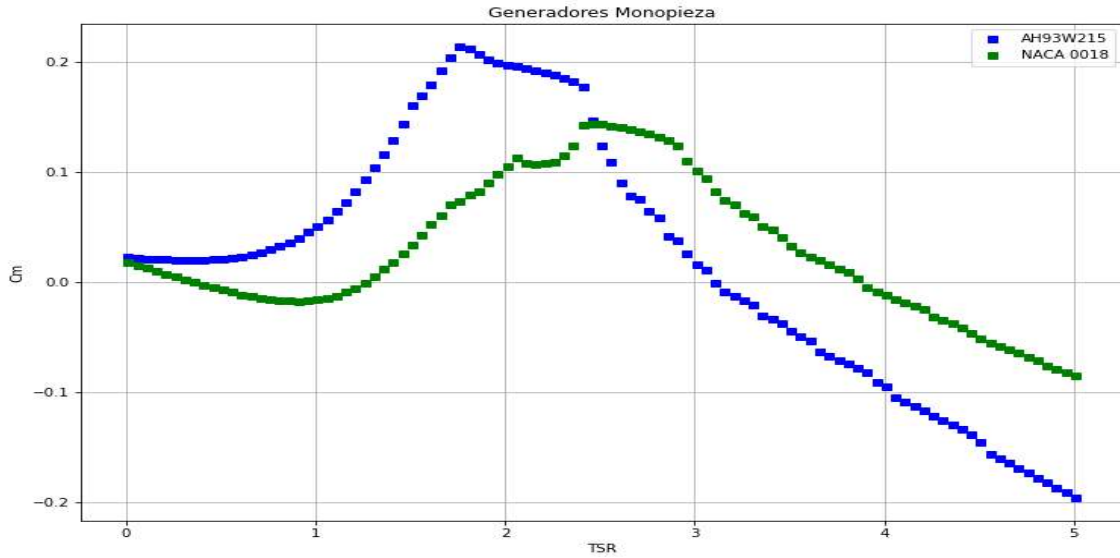


Figura 1: Coeficiente de momento para el perfil simétrico (NACA 0018) y otro asimétrico (AH93W215).

Continuamos luego a comparar todos los perfiles asimétricos. Cuando comparamos los torques generados, que se encuentra en la Fig. 2, todos los perfiles parecen tener comportamientos similares. Los valores de torque iniciales son similares y los picos de torque se da en rangos cercanos de relación de velocidades. Pero evaluando los coeficientes de potencia, mostrados en la Fig. 3, observamos algunas diferencias. Notamos que los perfiles NACA son capaces de generar más potencia y en un rango mayor de TSR que el perfil AH93W 215. Entre los tres perfiles NACA, el perfil NACA 23012 observamos que es menos eficiente que los demás. Entre los otros dos perfiles casi no hay diferencias en las curvas de torque o de potencia. Por lo que seleccionamos el perfil NACA 24112 para imprimir el prototipo.

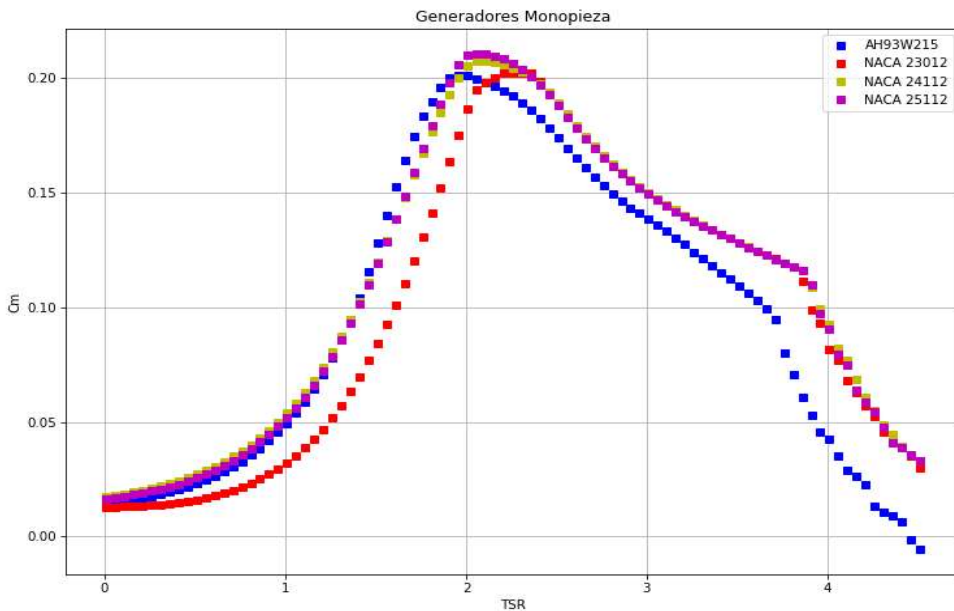


Figura 2: Coeficiente de momento de los perfiles asimétricos para distintos TSR.

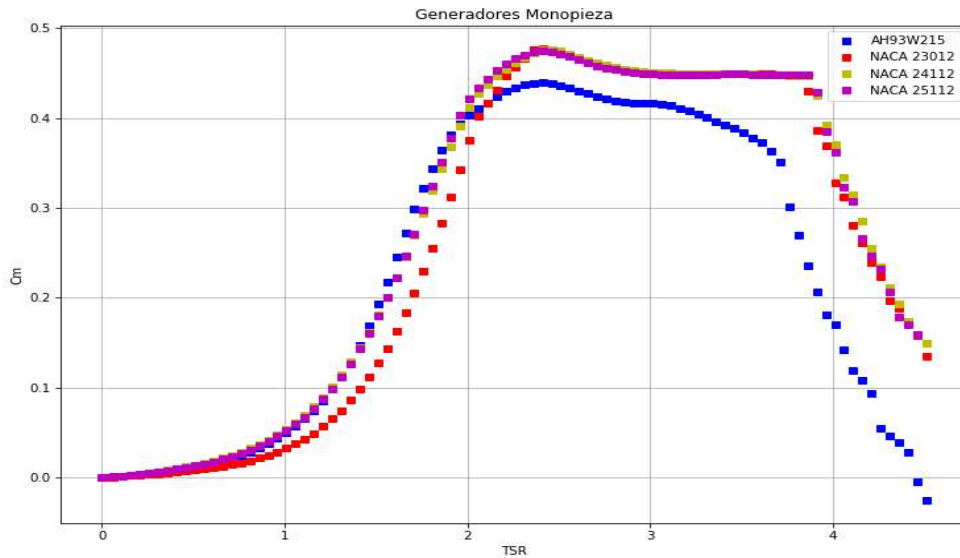


Figura 3: Coeficiente de potencia de los perfiles simétricos para distintos TSR.

En la Fig 4 mostramos las piezas separadas luego de la impresión, y el generador ya ensamblado, con las partes lijadas pero sin ser tratadas con acetona.

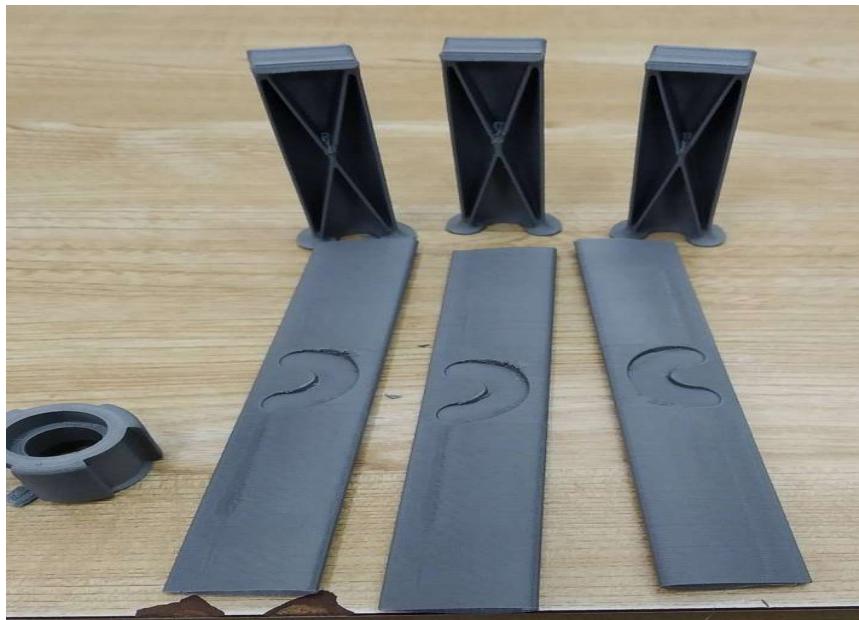


Figura 4: Piezas del generador por separado.

Conclusiones

En este trabajo evaluamos la posibilidad de utilizar métodos numéricos y técnicas de impresión 3D para el diseño y fabricación de un generador eólico VAWT de pequeña escala. Logramos modelar las palas del generador con un modelo BEM,

evaluando el desempeño de distintos perfiles. Estos resultados nos permitieron seleccionar un perfil para un construir un generador eficiente. Y finalmente, construimos un primer prototipo del generador. En trabajos futuros probaremos el generador en un túnel de viento para verificar que las simulaciones realizadas son correctas.

Referencias

- Aggio C., Verre V., y Gatto F. 2018. Innovación y marcos regulatorios en energías renovables: el caso de la energía eólica en la Argentina. doi:10.13140/RG.2.2.34011.11041.
- Garg A., Bhattacharya A., y Batish A. (2016). On surface finish and dimensional accuracy of FDM parts after cold vapor treatment. *Materials and Manufacturing Processes*, 31(4):522–529, 2016. doi:10.1080/10426914.2015.1070425.
- Garg A. Bhattacharya A..Battish A. (2017). Chemical vapor treatment of abs parts built by FDM: Analysis of surface finish and mechanical strength. *Int J Adv Manuf Technol*, 89:2175–2191, 2017. doi:10.1007/s00170-016-9257-1.
- Giralt C. (2011). Energía eólica en argentina : un análisis económico del derecho (dossier). *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, doi:10.17141/letrasverdes.9.2011.904.
- Jayanth N., Senthil P., y Prakash C. (2018). Effect of chemical treatment on tensile strength and surface roughness of 3D-printed ABS using the FDM process. *Virtual and Physical Prototyping*,13(3):155–163. doi:10.1080/17452759.2018.1449565.
- Ji X. y Schluter J. (2011). Design and analysis of small-scale vertical axis wind turbine. *IET Conference Publications*, 2011:1–10. doi:10.1049/cp.2011.0214.
- Herbert J. G., Iniyani S., Sreevalsan E., y Rajapandian S. (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6):1117–1145. ISSN 1364-0321. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.004.
- Kumar P.M. S.K.N.S.L.T.C.R.S. y Wei H. (2019). Review on the evolution of Darrieus vertical axis wind turbine: Small wind turbines. *Journal of Power and Energy Engineering*, 7:27–44. doi:10.4236/jpee.2019.74002.
- Loganathan B., Mustary I., Chowdhury H., y Alam F. (2017). Effect of turbulence on a Savonius type micro wind turbine. *Energy Procedia*, 110:549–554. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.183.
- Ramirez J. M., Saravia M. (2021) Assessment of Reynolds-averaged Navier–Stokes method for modeling the startup regime of a Darrieus rotor, *Physics of Fluids* 33, 037125. doi:10.1063/5.0045083.
- Mauro S., Brusca S., Lanzafame R., y Messina M. (2019). Micro H-Darrieus wind turbines: CFD modeling and experimental validation. *AIP Conference Proceedings*, 2191(1):020109. doi:10.1063/1.5138842.
- Nwaigwe K. (2022). Assessment of wind energy technology adoption, application and utilization: a critical review. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, (19):45254536. doi10.1007/s13762-021-03402-2.
- Sanvito A.G., Dossena V., y Persico G. (2021). Formulation, validation, and application of a novel 3D BEM tool for vertical axis wind turbines of general shape and size. *Applied Sciences*, 11(13). ISSN 2076-3417. doi:10.3390/app11135874.
- Victor S. y Paraschivoiu M. (2018). Performance of a Darrieus turbine on the roof of a building. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, 42(4):341–349. doi:10.1139/tcsme-2017-0096.
- Wickramasinghe S., Do T., y Tran P. (2020). FDM-based 3D printing of polymer and associated composite: A review on mechanical properties, defects and treatments. *Polymers*, 12(7). ISSN 2073-4360. doi:10.3390/polym12071529.