

.....

Sistema deflector de orientación automática para una turbina eólica tipo Savonius

Henry Moreno*, Diana M. Marulanda**, Alex G. Leal***,
Carlos A. Gordillo**** y Gonzalo E. Rocha*****

Abstract

Savonius wind rotors for energy production have efficiency that depends on various design parameters. One of them is the use of deflectors or elements that hinder the direct action of wind on the rotor blades that move against wind direction, or returning blades. In this sense, the design of an automatic wind deflector system is presented in this work to improve the performance and increase the efficiency of the rotor. The increase in efficiency was 9.6% when using the electronic deflector system.

keywords: Savonius wind rotor, automatic deflector

Resumen

Las turbinas eólicas tipo Savonius para generación de energía tienen una eficiencia que depende de diferentes parámetros de diseño. Uno de ellos es el uso de deflectores o elementos que impidan la acción directa del viento sobre los álabes del rotor que se mueven en contra de la dirección del viento, o álabes de retorno. En este sentido, en este trabajo se presenta el diseño de un sistema deflector de orientación automática para una microturbina eólica tipo Savonius con el fin de mejorar su desempeño y eficiencia. El aumento en la eficiencia de la turbina con el uso del sistema electrónico fue de 9.6%.

Palabras clave: microturbina eólica Savonius, deflector automático.

Fecha Recibido: agosto 12 de 2012

Fecha de aceptado: noviembre 20 de 2012

* Especialización En Diseño Mecánico Asistido Por Pc, Facultad Ingeniería Mecánica. Universidad Antonio Nariño, Grupo Research on Energy and Materials (REM), Calle 22 Sur # 12D81, henry.moreno.acosta@uan.edu.co,

** Doctorado en Ingeniería Ciencia y Tecnología de Materiales. dmarulanda@uan.edu.co,

*** Ingeniero en Automatización Industrial. alexguillermoleal@hotmail.com,

**** Ingeniero en Automatización Industrial. chaloenrique@hotmail.com

***** Ingeniero en Automatización Industrial



1. Introducción

Las turbinas Savonius son un tipo de turbinas de eje vertical usadas para convertir el poder del viento en torsión sobre un eje rotatorio y generar micro-potencia. Aunque tienen bajo rendimiento en comparación con otras turbinas de eje vertical, tienen algunas ventajas entre las que se encuentra su bajo costo, pueden iniciar con poco viento, son de fabricación sencilla, no dependen de la dirección del viento y tienen un torque de arranque alto [1]. Se han estudiado diferentes configuraciones del rotor Savonius y se ha concluido que cada configuración produce un comportamiento muy diferente [2]. Otra de las aproximaciones que se ha utilizado para mejorar su rendimiento es el uso de estructuras especiales adicionales a los componentes básicos de la turbina tales como pantallas o placas alrededor de la turbina que direccionan el viento que llega a ella. La ubicación de una placa deflectora puede ser una de las modificaciones más simples posibles y se puede obtener un aumento significativo en el rendimiento de la turbina [4]. De la misma forma que en el diseño de la turbina, la configuración de la placa deflectora, que incluye su geometría y posición con respecto a la turbina, afectan el rendimiento. De acuerdo a esto, en este trabajo se implementó un deflector semi-cilíndrico y un mecanismo de generación de independencia rotacional entre el rotor Savonius y el deflector que es controlado por un sistema electrónico que permite la orientación automática del deflector de acuerdo a la dirección del viento. Aunque se han realizado diferentes trabajos que han estudiado diferentes geometrías y posiciones del deflector, no se ha realizado un sistema de orientación automática del deflector de este tipo.

2. Desarrollo experimental

El diseño del sistema se dividió en cuatro partes principales: diseño del deflector, diseño del mecanismo de generación de independencia rotacional, diseño del mecanismo de orientación automática del deflector y el sistema de generación eléctrica. A continuación se describe cada uno.

A. Diseño del deflector

En este trabajo se utilizó una turbina Savonius de eje vertical de tres etapas, cada una desfasada de la otra un ángulo de 120° , con el fin de tener uniformidad en el torque arranque. Los parámetros de diseño utilizados para la turbina se calcularon teniendo en cuenta las relaciones para un buen rendimiento [5] y fueron los siguientes: diámetro del rotor $D = 0.745$ m, diámetro del álabes $d = 0.424$ m, solapamiento $e = 0.103$ m y una altura de la turbina $H = 1.491$ m. El material utilizado para la fabricación de la turbina fue lámina galvanizada, que se eligió principalmente por su bajo costo y buenas propiedades mecánicas relacionadas con su buena resistencia a la corrosión por la exposición a ambientes exteriores.

En el diseño del deflector se tuvieron en cuenta aspectos geométricos y de funcionamiento del rotor Savonius, así como las condiciones de trabajo final y ambiental a las que pudiera estar sometido. De esta forma se diseñó un deflector semicilíndrico con una altura $H_d = 1.786$ m y un radio $R_d = 0.4$ m, de forma tal que cubriera las tres etapas de álabes del rotor. El arco del deflector cubrió un ángulo de 105° con el fin de generar un apantallamiento sobre los álabes de retorno e inducir el viento hacia los álabes expuestos [5].

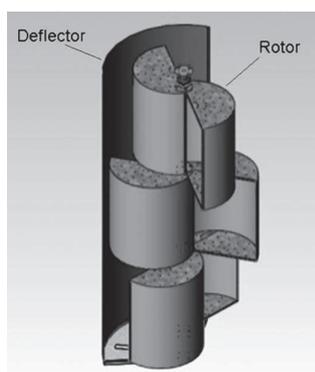


Figura 1: Diseño del conjunto deflector y rotor Savonius.

El material utilizado para el deflector fue igualmente lámina galvanizada debido a las características mencionadas anteriormente, además de su bajo espesor. En la Fig. 1 se presenta una imagen del rotor Savonius y el deflector diseñados.

B. Diseño del mecanismo de generación de independencia rotacional

Se diseñó un mecanismo que permitiera el desplazamiento del deflector en tiempo real, con el fin de realizar su posicionamiento de forma automática de acuerdo a la dirección del viento. Con base en las diferentes cargas que ejercen los elementos que actúan en el sistema deflector y el rotor Savonius, y teniendo en cuenta la velocidad máxima del viento que para Colombia es de 120 km/h, de acuerdo con el código colombiano de estructuras metálicas [6], se realizaron los cálculos requeridos para el diseño y selección de elementos del mecanismo de generación rotacional. De esta forma se calculó la fuerza máxima del viento sobre el deflector de acuerdo a la siguiente ecuación [7]:

$$F_{VD} = (\rho \cdot A_p \cdot C_p \cdot V_c^2) / 2$$

Donde F_{VD} es la fuerza máxima del viento sobre el deflector, ρ es la densidad del aire (1.25 kg/m³), V_c es la fuerza máxima del viento sobre el deflector, C_p es el coeficiente de fuerza efectiva que se tomó como 1.2 [7], y A_p es el área proyectada del deflector, que se calculó como $A_p = H_d \cdot R_d$. De acuerdo a lo anterior se calculó una fuerza máxima del viento sobre el deflector de 589.21 N, que se utilizó para calcular el torque sobre el deflector como $T = F_{VD} \cdot R_d / 2 = 117.84 \text{ N}\cdot\text{m}$. Ahora bien, la potencia requerida para mover el deflector es $P = T \cdot \omega$, donde ω es la velocidad a la cual opera el deflector. Se estimó un valor de $\omega = 1 \text{ rev/s}$, obteniendo un valor $P = 12.34 \text{ W}$. Teniendo en cuenta criterios de diseño, se calculó una potencia de salida del reductor de 18.51 W, y se seleccionó un mecanismo sinfín corona compuesto de un rodamiento axial de bolas de simple efecto, que soporta las cargas estáticas del conjunto deflector y rotor Savonius, y que se ubica en el módulo superior e inferior del sistema. Con base en la potencia de diseño calculada se seleccionó un motor para la generación de movimiento de 1/32 hp.

El deflector es un elemento independiente controlado por el sistema de reducción sinfín corona y que gira concéntricamente con el rotor Savonius. Para tener esta independencia se diseñó un mecanismo de doble rodamiento que consta de

dos módulos, uno para la sección superior del sistema y otro en la sección inferior. En la figura 2 se muestra una imagen de la ubicación de los elementos en la parte superior e inferior.

En la parte superior el movimiento de rotación es transmitido por el sistema de reducción sinfín corona al deflector, y en la parte interna del deflector se encuentra el módulo de independencia de giro superior con el que se deja libre el movimiento rotacional del deflector y del rotor Savonius. En la parte inferior se encuentra el segundo módulo de independencia de giro que mantiene unidos el deflector y el rotor Savonius en un eje de concetricidad virtual, manteniendo compacta y unida la estructura de estos elementos.

Al generar independencia en el movimiento rotacional entre el deflector y el rotor Savonius, se presenta la necesidad de desarrollar un sistema que transmita el movimiento rotacional del rotor Savonius al volante de generación eléctrica. Esta transmisión de movimientos se genera al conectar el eje del rotor Savonius internamente por ejes perforados que se desplazan a través del módulo de independencia rotacional hasta llegar al volante dejándolos solidarios en el movimiento generado.

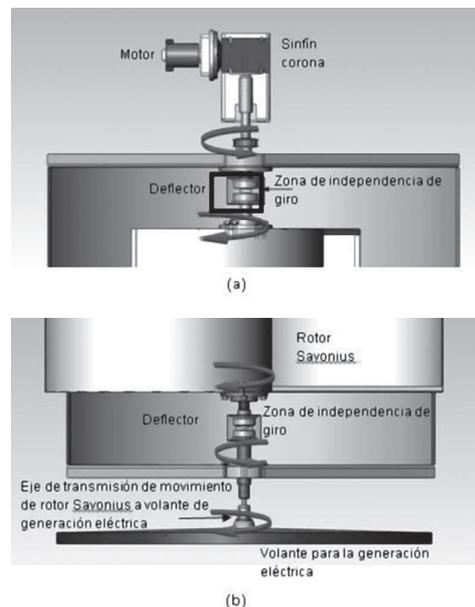


Figura 2. Sistema de giro independiente. (a) Parte superior. (b) Parte inferior

C. Diseño del sistema de orientación automática del deflector

El mecanismo de orientación del deflector está constituido por un sistema de reducción que se seleccionó para mover el deflector con una velocidad en el rango de 12 rpm. Además, cuenta con un sensor de dirección del viento, un sensor de ubicación rotacional, una tarjeta integradora para acoplamiento de los sensores y un circuito electrónico que recibe la señal emitida por la tarjeta integradora y entrega una señal de activación al mecanismo de orientación del deflector. El sensor de dirección del viento es una veleta de la marca Inspeed modelo E-Vanee, equilibrada sobre rodamientos con fricción muy cercana a cero, cuyo elemento activo es un sensor de efecto Hall sellado. La dirección del viento es proporcionada por un imán acoplado a la veleta que se afirma sobre el sensor. El sensor de ubicación rotacional es un sensor marcha Cherry serie AN8, que es operado por la rotación con un actuador magnético cerrado a la cara del sensor. Tiene un voltaje de salida que varía con la posición angular del imán respecto al sensor.

La tarjeta de integración de los sensores consta de un PIC12F629, que se utilizó para controlar el sentido de giro de ubicación rotacional del deflector de acuerdo a los datos suministrados por los sensores. Se tomaron dos salidas digitales para controlar el arranque y la parada del motor, y se desarrolló un sistema de comparación entre los sensores para que se alinearan. El procedimiento de lectura de señales y decisiones a tomar dependiendo de las diferentes situaciones que se presenten se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.

El circuito electrónico que recibe la señal de la tarjeta integradora acciona el mecanismo de orientación del deflector, desplazándolo a la ubicación donde se encuentre con la orientación del viento.

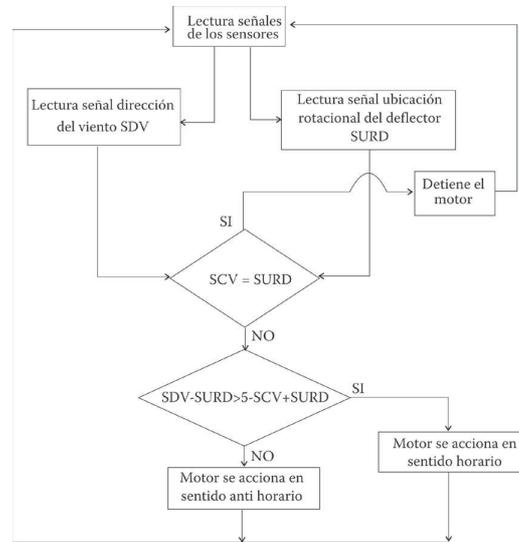


Figura 3. Diagrama de flujo del procedimiento de lectura de señales y toma de decisiones.

D. Sistema de generación eléctrica

El sistema de generación eléctrica consistió de un volante (ver Figura 2) y un dínamo que recibe la energía mecánica que genera la turbina por medio del volante y la convierte en energía eléctrica. En la Figura 4 se muestra una imagen de la instalación de estos elementos en el sistema. El sistema es sencillo pero suficiente para mostrar la turbina como elemento generador que, mejorado con el sistema deflector de orientación automática, logra alcanzar niveles deseables de energía eléctrica.

La corriente eléctrica generada es proporcional a la velocidad de giro del inducido, es decir, a la velocidad con que gira la turbina pues esta energía mecánica que recibe la turbina debido a la acción del viento sobre ella, se transfiere al dínamo por medio del volante y se multiplica a través de un sistema de transmisión de potencia con una relación 1:32.

- Sistema deflector de orientación automática para una turbina eólica tipo Savonius •

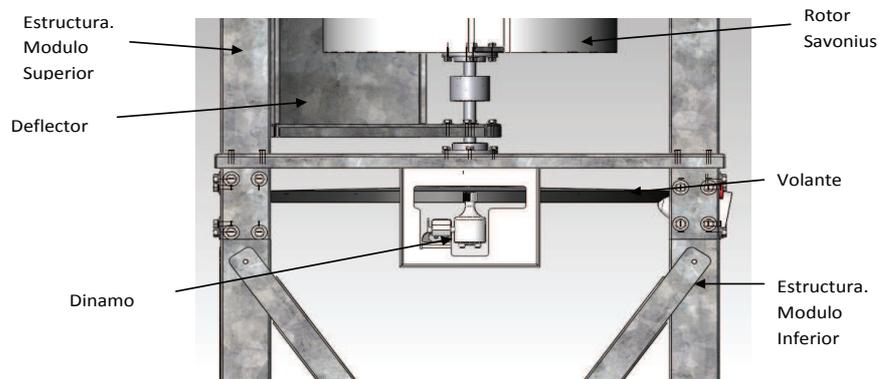


Figura 4. Montaje del sistema eléctrico

Resultados

Se realizó la evaluación del desempeño de la microturbina tipo Savonius con y sin deflector, con el fin de comparar los resultados. Se simuló un ambiente en donde se tuviera una velocidad del viento de modo tal que la microturbina consiguiera una velocidad angular de 100 r.p.m., con el fin de generar aproximadamente 2 W de potencia. Para esto se utilizó un ventilador con un motor de 2 hp y 1750 r.p.m. orientado hacia la zona media de la turbina, buscando evitar desbalanceo de cargas en el sistema.

Con el fin de definir la posición óptima del deflector una vez se detecte la dirección del viento, se tomaron datos de voltaje, corriente y velocidad de la turbina, siguiendo la siguiente metodología: (i) sin efecto del deflector, (ii) con deflector en punto de influencia, (iii) con deflector en punto de influencia más 25° y (iv) con deflector en punto de influencia menos 25°. Se tomaron 5 datos en cada posición. En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos y en la Figura 5 se presenta una gráfica de la potencia obtenida con cada una de las configuraciones.

Con base en los datos, la potencia más alta se obtiene con el deflector ubicado en el punto de influencia. De hecho la ubicación del deflector en otros ángulos produjo un efecto negativo. De acuerdo a lo anterior se estableció que con la incorporación del deflector al funcionamiento de la microturbina se consiguió un incremento en la potencia de 9.6%.

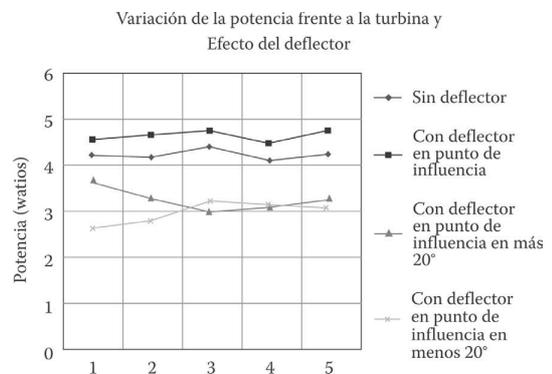


Figura 4. Variación de la potencia con y sin influencia del deflector

Tabla I. Resultados obtenidos sin deflector y con el deflector ubicado en diferentes posiciones.

Prueba	Voltaje (V)	Corriente (A)	Velocidad Microturbina (r.p.m.)
I	8,98 ± 0.16	0,476 ± 0.009	138,8
ii	9,48 ± 0.18	0,494 ± 0.005	143,2
lii	7,44 ± 0.45	0,44 ± 0.01	116,4
iv	6,96 ± 0.4	0,428 ± 0.01	101,4

Conclusiones

En este trabajo se diseñó y estudió el rendimiento de una turbina Savonius para generación de micro-potencia con el uso de un deflector orientado de forma automática. Se encontró que la potencia generada aumentó en 9.6% con respecto a la turbina sin deflector automático. Esto indica que el uso del deflector tiene un efecto positivo en el rendimiento total del sistema, teniendo en cuenta que éste es afectado además por los componentes presentes, además de la turbina. Desde el punto de vista técnico, este sistema permite un direccionamiento eficiente del viento hacia los álabes de la turbina Savonius.

Referencias

- [1] B. D. Altan y M. Atilgan, "The use of curtain design to increase the performance level of Savonius wind rotors", *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 821-829, 2010.
- [2] J. V. Akwa, H. A. Vielmo y A. P. Prety, "A review on the performance of Savonius wind rotors", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 3054-3064, 2012.
- [3] M.H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap, D. Thévenin, "Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade", *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2618-2626, 2010.
- [4] D. Kim, M. Gharib, "Efficiency improvement of straight-bladed vertical-axis wind turbines with an upstream deflector", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 115, pp. 48-52, 2013.
- [5] Le Gourières, D. *Energía Eólica: Teoría, concepción y cálculo práctico de las instalaciones*. Ed Masson, 1983.
- [6] Código colombiano de estructuras metálicas, NTC 2001, 1993.
- [7] U. K. Saha, S. Thotla, D. Maity, "Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 96, pp. 1359-1375.