

Diseño de una turbina eólica de eje vertical con rotor mixto

Investigación en curso

Aldair Barajas Aldana
Programa de Ingeniería Mecatrónica
abarajas@unab.edu.co

Universidad Autónoma de Bucaramanga

RESUMEN

En el presente trabajo se propone el uso de una turbina eólica de eje vertical con rotor mixto en aplicaciones de generación de energía eléctrica. El objetivo del trabajo es determinar la configuración de una turbina eólica que genere 1 KW de potencia para satisfacer requerimientos energéticos básicos de una unidad residencial. Dentro de los alcances del proyecto se encuentran el análisis de los parámetros de diseño y de operación de la turbina, con base en pruebas experimentales sobre un modelo a escala cuyo rendimiento debe ser cercano al de la turbina a escala real. Las siguientes etapas de este proyecto consistirán en el diseño de la solución seleccionada, construcción y validación experimental.

ABSTRACT

This paper proposes the design of a vertical axis wind turbine rotor mixed as energy source. The aim of this work is to design a wind turbine to generate 1 KW of power to meet basic energy requirements. We will analyze the best possible solutions for the start of the wind turbine, based on the experimental analysis through a scale model, looking for this does not decrease performance. Also, we will design and build the solution selected.

Área de Conocimiento

Energías alternativas, máquinas de fluidos

Palabras Clave

Máquina combinada, Rotor, Álabes, Turbina de eje vertical.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es la energía cinética generada por el efecto de las corrientes de aire, y es transformada en otras formas útiles para actividades humanas. En el siglo XX, se inventó los motores de combustión interna, las primeras máquinas eólicas eran de eje vertical, posteriormente en las islas griegas del Mediterráneo, se desarrollaron molinos de viento de eje horizontal cuya principal

Este material es presentado al *VI Encuentro Institucional de Semilleros de Investigación UNAB*, una actividad carácter formativo. La Universidad Autónoma de Bucaramanga se reserva los derechos de divulgación con fines académicos, respetando en todo caso los derechos morales de los autores y bajo discrecionalidad del grupo de investigación que respalda cada trabajo para definir los derechos de autor.

característica fue la utilización de velas triangulares a modo de palas. En el siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para la elaboración de aceites, papel y procesar la madera en aserraderos. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores (generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento). Este proyecto tiene como finalidad demostrar las leyes de transformación de energía eólica a potencial, asimismo demostrar la aplicación de la teoría en la práctica.

Como primera medida el proyecto examina el diseño de una Turbina Eólica de eje vertical Darrieus, ya que exhibe buenos resultados en cuanto a la generación eléctrica, pero este tipo de rotor no arranca solo. Las soluciones a este problema consisten en: hacer funcionar un motor de arranque conectado a alguna fuente de energía externa u ocupar la misma energía producida o mezclar otros rotores para disipar la dificultad del arranque. Es por esto, que se desea combinar los rotores Darrieus y Savonius, este último también de tipo vertical, el cual por su alto torque de arranque, es útil para el proyecto^[2].

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar de una Turbina Eólica de eje vertical con rotor mixto para ser empleado como elemento de abastecimiento energético.

2.2. Objetivos Específicos

- Rediseñar el modelo elegido.
- Presentar un diseño en CAD del modelo elegido.
- Seleccionar materiales aerodinámicos a usar en la construcción del prototipo.
- Desarrollar sistemas eléctrico y de control del modelo.
- Construcción del prototipo.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto iniciará con un análisis teórico el cual más adelante se contrastará con uno experimental. Como primera medida el proyecto examinará el diseño de una Turbina Eólica de eje vertical Darrieus, ya que exhibe buenos resultados en cuanto a la generación eléctrica, además se plantea la opción de modificar la forma del rotor y también combinarlo con otro tipo de rotor buscando con esto una optimización del mismo.

Luego se procederá a realizar los respectivos cálculos de dimensiones de ambos rotores, tales como altura, velocidad periférica y revoluciones por minuto, diámetro, largo de los álabes, fuerza soportada y torque producido, además se grafica las revoluciones por minuto versus la velocidad del aire, esto con el fin de mostrar la eficiencia del sistema

4. CRONOGRAMA

Actividad	Semanas				
	1 a 6	7 a 8	9 a 10	11 a 13	14 a 16
Rediseñar el modelo elegido.					
Seleccionar materiales aerodinámicos a usar en la construcción del prototipo.					
Realizar un diseño en CAD del modelo elegido					
Desarrollar sistemas eléctrico y de control del modelo.					
Construcción del prototipo.					

5. REFERENTES TEÓRICOS

Como referente teórico se tiene la llamada mini eólica, que consiste en la generación de energía a partir de aerogeneradores de potencia inferior a 100kw, este tipo de generadores son utilizados en lugares aislados, de difícil acceso, en donde resulta costoso llevar la energía. Por lo cual en estos logares se ha optado por generar su propia energía con la utilización de aéreo generadores ubicados en la cima de una torre, conectado a un rectificador de voltaje para evitar sobre saltos, un banco de baterías en las cuales se guarda la energía y un inversor para transformarla de directa a alterna.

Este es el sistema de generación domiciliaria que se ha venido utilizando, pero es un diseño costoso, que ocupa un gran espacio, que haría imposible su utilización en espacios estrechos como un apartamento.

6. RESULTADOS PARCIALES

Para el análisis se estima un rendimiento mecánico (η_m) de 80%^[1], se considera para ello las pérdidas de energía, que se producen en los descansos, acoplamientos y el sistema de transmisión, producidas por el contacto entre los elementos, se asume también un rendimiento eléctrico (η_e) de 90%^[1] en la etapa de generación, el rendimiento aerodinámico máximo (C_{pmax}) del rotor Darrius es 35%; tal como se aprecia en la Figura 1.

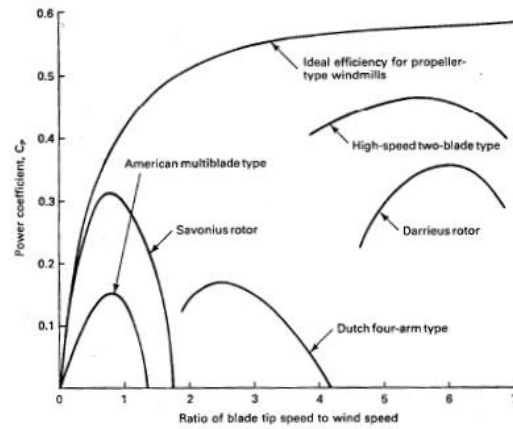


Figura 1. Rendimiento aerodinámico en función de velocidad (TSR).^[3]

La turbina eólica se diseña para que entregue una potencia máxima generada de 1KW.

$$P = \frac{\rho A V_{\infty}^3}{2} (1)$$

$$\eta_t = \eta_e * \eta_m * C_{pmax} (2)$$

$$\eta_t = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{real}}} (3)$$

$$P_{\text{real}} = \frac{1000 \text{ w}}{0.252} = 3968.25W$$

Conocida la potencia de diseño y junto con los datos obtenidos de la evaluación eólica, se determinan los parámetros de la turbina. La velocidad nominal del viento es la velocidad mínima a la que se produce la potencia nominal de la turbina. Esta puede estimarse de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 3. Velocidad nominal del viento^[2].

Velocidad media del viento V_m	Velocidad nominal del viento V_{∞}
≤5	8
7	11
>7	14

Como la velocidad media del viento que será utilizada es menor que 5m/s se tomará como velocidad nominal 8m/s.

La potencia generada por un rotor eólico está dada por la ecuación (1) Al girar una turbina describe un volumen denominado Volumen de Barrido, este volumen es simétrico con relación al eje de rotación; se denomina área barrida a la intersección entre este volumen y un plano cualquiera que contenga el eje del rotor. Para una turbina Darrius, esta área se aproxima a la función parabólica, la cual se define como:

$$A_{\text{parábola}} = \frac{2cf}{3} (4)$$

Con:

$$\frac{D}{2} = f \quad (5) \quad c = H \quad (6) \quad D = H \quad (7)$$

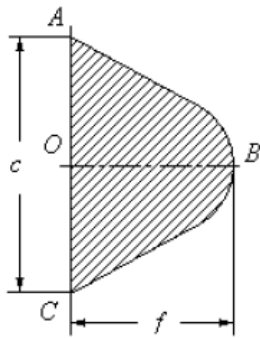


Figura 2. Área de la función parabólica. [3]

Reemplazando. Se obtiene:

$$D = 4.29746m$$

De Fig1 se obtiene la ecuación de la parábola $y = 0.930795x^2$, el largo del álabe es:

$$l = 9.98454m$$

El área de barrido es:

$$A_{parábolas} = 12.3118m^2$$

La fuerza que hará el viento sobre un área determinada, la cual en este caso será el área de barrida del rotor Darrieus es:

$$F = \frac{\rho V_{\infty}^2 A}{2} \quad (8)$$

$$F = 496.018N$$

Se define la relación de velocidad específica o periférica TSR como:

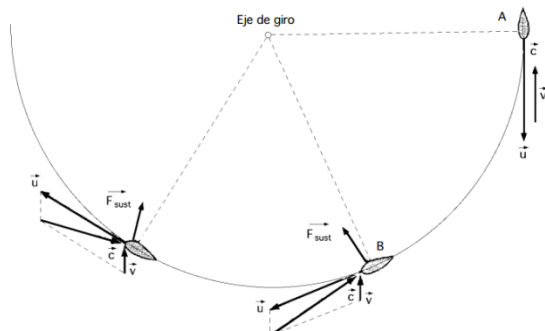
$$TSR = \frac{\omega * R}{V_{\infty}} \quad (9)$$

$$\omega = 22.3391 \text{ rad/s}$$

Y con esto tenemos que las revoluciones por minuto del rotor serán:

$$rpm = 213.323 \text{ rpm}$$

En la Figura 3 se observa que para un rotor Darrieus la fuerza ascensional modifica continuamente su dirección y magnitud,



dependiendo de la posición de las aspas respecto al viento.

Figura 3. Variación de la fuerza ascensional en función de la posición del álabe. [3]

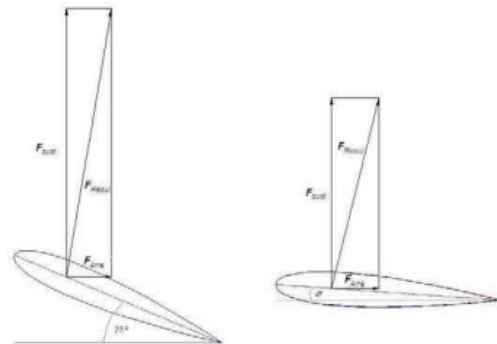


Figura 4. Variaciones de esfuerzos v/s Angulo de ataque. [3]

6.1. Rotor Savonius

La función a cumplir por el Rotor Savonius es hacer de motor de arranque para la Turbina eólica, por lo que es necesario hacer el cálculo de éste, determinando el torque que debe producir con base en el área de barrido.

De la ecuación (9) y considerando un TSR=1, y una relación de transmisión de 6:1.

$$r = 0.254m$$

Con la ecuación (10) tenemos que:

$$F_{arr} = 1.08 * C_D * \rho * A * V_{\infty}^2 \quad (10)$$

Al combinar (10) con (11) y despejar A se obtiene:

$$F_{arr} = \frac{2 * T_s}{r} \quad (11)$$

$$A = \frac{T_s}{r_s * \rho * V_{\infty}^2 * C_D * 0.54}$$

Con el TSR=1 se ingresa a la Figura 1 obteniendo un coeficiente de arrastre $C_x = 1.3$. Con este dato y junto a las ecuaciones (10) y (11) es posible determinar el área de barrido en relación a un torque determinado. Como una forma de determinar la mejor relación de tamaño del rotor Savonius, se usa un método numérico para calcular las áreas para diferentes torques de partida en Nm, manteniendo constante el radio r. La Tabla 2 muestra una aproximación de éste método.

Tabla 4. Variaciones de torques de partida en función del área.

$r(m)$	$T_s(Nm)$	$Farr(N)$	$A_s(m^2)$	$A_d(m^2)$
0.254	9.8	7.716.535	0.68142	1.163.038
0.254	19.6	1.543.307	136.284	1.094.896
0.254	29.4	2.314.961	2.044.261	1.026.754
0.254	39.2	3.086.614	2.725.681	9.586.119
0.254	49	3.858.268	3.407.101	8.904.699
0.254	58.8	4.629.921	4.088.521	8.223.279
0.254	68.6	5.401.575	4.769.942	7.541.858
0.254	78.4	6.173.228	5.451.362	6.860.438
0.254	88.2	6.944.882	6.132.782	6.179.018
0.254	98	7.716.535	6.814.202	5.497.598

En la Tabla 2 se puede apreciar que a medida que se va aumentando el torque de partida va disminuyendo el área de barrido del rotor Darrieus (Ad). Es por esto que el área del rotor Savonius (As) no puede exceder las dimensiones del rotor Darrieus, es por esto, que sólo se trabaja con torques entre 9,8 a 49 Nm ya que comprometen en menor escala, el funcionamiento del equipo^[3].

7. IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Nombre del Semillero	Semillero de investigación en modelado y simulación
Tutor del Proyecto	Sebastián Roa Prada
Grupo de Investigación	Control y Mecatrónica
Línea de Investigación	Modelado y simulación
Fecha de Presentación	15 de marzo de 2013

8. REFERENCIAS

- [1] Park, Jack; “The Wind Power Book”, Brownsville, California, Enero, 1981.
- [2] Fernández, Pedro; “Energía Eólica”, Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, Universidad de Cantabria, España.
- [3] Vásquez Leiva, Mauricio Andrés; “Diseño de una turbina eólica de eje Vertical con rotor mixto. Universidad Austral de Chile, Chile.
- [4] Carreño Bodensiek, Carlos Guillermo; “Propuesta metodológica para el diseño y construcción de un aerogenerador de baja potencia”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.