

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AEROGENERADOR USANDO TOBERAS

DESIGN AND EVALUATION OF AN AEROGENERATOR USING WIND NOZZLE PROTOTYPE

Carlos Job Fiestas Urbina¹, Benigno Lizárraga Zavaleta², Julio César Valencia Bardales¹

RESUMEN

Una diversidad de sistemas con fines de aerogeneración eléctrica se están experimentando en el mundo y con mayor incidencia aquellos con eje horizontal en nuestro medio. Sin embargo existe un especial interés por aquellos que utilizan toberas rotatorias considerando sus ventajas mecánicas y de rendimiento e idealmente a la corriente de aire en condiciones normales de presión y temperatura. El diseño teórico y evaluación simulada han sido consideradas como parte de este trabajo obteniéndose un rendimiento mecánico de 41,25% bajo condiciones de presión y temperatura indicadas y con una velocidad de viento de 10 m/s.

PALABRAS CLAVE: Aerogenerador, diseño, evaluación, prototipo, tobera.

ABSTRACT

A variety of wind generation systems with electrical purposes in the world are experiencing the highest incidence and those with horizontal axis in our environment. However, there is a special concern for those considering using rotating nozzles and mechanical advantages of performance and ideally the flow of air at normal pressure and temperature. The simulated theoretical design and evaluation have been considered as part of this work was obtained or mechanical performance of 41.25% under specified temperature and pressure and wind speed 10 m / s.

KEYWORDS: Wind turbine, design, evaluation, prototype, nozzle.

¹Docente Principal. Facultad de Ciencias, Dpto. de Física e Ingeniería. E-mail: cfiestas@unjfsc.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Para el diseño y evaluación de un prototipo de aerogenerador se ha elegido como dispositivo mecánico que convierte la energía eólica en energía mecánica rotacional, una tobera rotatoria, cuyo movimiento es activado por acción de una corriente de aire en condiciones normales de presión y de temperatura. Con este objetivo se han desarrollado los temas siguientes:

Fundamentos de mecánica de fluidos y termodinámica que contenga la ecuación de continuidad y la ecuación de Bernoulli, para un flujo de fluidos compresible e isotérmico en tubos; fuerzas que ejercen los fluidos sobre dispositivos que cambian su dirección; diseño de la tobera rotatoria, teniendo en consideración las teorías previamente desarrolladas; y la elaboración de un procedimiento de cálculo y programa informático, para evaluar y simular la performance de la tobera rotatoria en diferentes

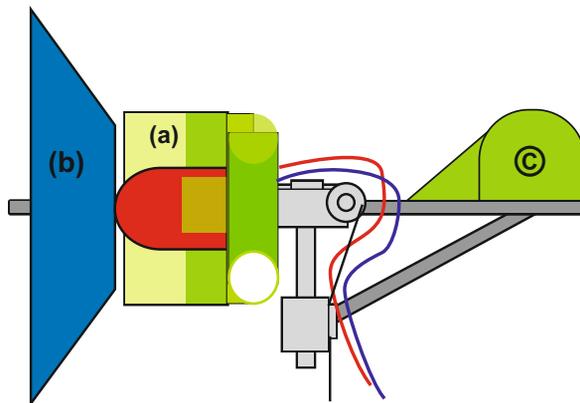
condiciones. Este tratamiento constituye la primera etapa de diseño y evaluación de un prototipo de aerogenerador.

OBJETIVO

Diseñar y evaluar el prototipo de aerogenerador eólico con toberas y medir parámetros aerodinámicos y electromagnéticos para evaluar la eficiencia del sistema en la conversión de energía eólica en energía eléctrica.

EL MODELO Y MARCO TEÓRICO

El modelo de aerogenerador que se está proponiendo como tema de trabajo es el que se muestra en el diagrama siguiente: Tobera cilíndrica giratoria acoplada al rotor del generador (a), tobera fija de forma cónica truncada para captación de flujo de aire incidente (b), veleta para alineamiento del sistema con la corriente de aire (c).¹⁻⁸



Esquema del prototipo de aerogenerador

A continuación presentamos las expresiones matemáticas correspondientes a las características del flujo de aire y su efecto sobre el sistema eólico para convertir la energía eólica en energía cinética rotacional de la tobera.

Número de Reynolds (a la entrada de la tobera)

$$Re = \frac{\rho V \phi}{\mu}$$

Factor de Fanning en el tubo de entrada.

Factor de Fanning inicial, se emplea como aproximación el valor obtenido a través de la correlación de Blasius.

$$f_0 = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$$

$$f_0 = \frac{0.316}{(2.69e+6)^{0.25}} = 7.8e-3$$

El factor de Fanning correcto lo obtendremos a través de un procedimiento iterativo, utilizando la correlación de Colebrook – White, a través del siguiente algoritmo.

$$f_{i+1} = \left(-2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7\varphi} + \frac{2.51}{Re f_i^{0.5}} \right) \right)^{-2}$$

Área de la sección transversal a la entrada de la tobera rotatoria.

$$Ae = \frac{\pi \varphi^2}{4}$$

Área de la sección transversal en un tubo desalida.

$$At = \frac{\pi \varphi_t^2}{4}$$

Área de la sección transversal total en tubos desalida.

$$As = N At$$

Gasto del flujo de aire.

$$G = \rho_e V Ae$$

La presión del aire a la entrada de la tobera.

Es equivalente a la presión atmosférica.

$$Pe = P$$

La velocidad del aire a la entrada de la tobera.

Es equivalente a la velocidad del viento.

$$Ve = V$$

La presión del aire a la salida de la tobera rotatoria.

Consideramos un flujo de aire: gas ideal, isotérmico.

La presión del aire a la salida de la tobera, considerado como un flujo de gas ideal e isotérmico, es dada por la siguiente expresión:

$$Ps = Pe \exp \left[\left(\frac{\rho_e V_e^2}{2 Pe} \right) \left(1 - \frac{f L}{\varphi} - \left(\frac{Ae Pe}{As Ps} \right)^2 (1 + K) \right) \right]$$

Para obtener el valor de la presión del aire a la salida de la tobera, recurrimos a un proceso iterativo, partiendo con un valor de la presión de salida equivalente a la presión de entrada.

$$Pso = Pe$$

Las presiones de salida obtenidas en iteraciones sucesivas se obtienen mediante un algoritmo obtenido de la expresión para la presión del aire a la salida de la tobera:

$$Ps_{i+1} = Pe \exp \left[\left(\frac{\rho_e V_e^2}{2 Pe} \right) \left(1 - \frac{f L}{\varphi} - \left(\frac{Ae Pe}{As Ps_i} \right)^2 (1 + K_{cont} + K_{cod}) \right) \right]$$

Densidad del aire a la salida de la tobera rotatoria.

$$\rho_s = \left(\frac{Ps}{Pe} \right) \rho_e$$

Radio de giro de los codos de salida.

$$R = \frac{\varphi - \varphi_t}{2}$$

Velocidad relativa promedio a la salida de la tobera rotatoria.

$$Vrs = \left(\frac{\rho_e}{\rho_s} \right) \left(\frac{Ae}{As} \right) Ve$$

Velocidad tangencial límite de los codos de salida.

$$Vt = \frac{G Vrs}{G + \frac{cv + ce}{R^2}}$$

Velocidad angular de la tobera rotatoria.

$$\omega = \frac{Vt}{R}$$

Torque rotatorio que experimenta la tobera.

$$\tau_z = G(Vrs - Vt)R$$

Potencia mecánica eólica entregada a la tobera por el flujo de aire.

$$Peol = \frac{G V_e^2}{2}$$

Potencia mecánica disipada por la corriente de aire.

Para vencer la fricción y el torque electromagnético del generador, la potencia disipada es:

$$P = \tau_z \omega$$

PROCEDIMIENTO

El procedimiento de cálculo para evaluar la performance de una tobera giratoria como prototipo del dispositivo de conversión de energía eólica en energía mecánica rotatoria de un aerogenerador se ha realizado empleando las ecuaciones descritas en el fundamento teórico y en el mismo orden de presentación.

Con este procedimiento se ha desarrollado un programa de cálculo en EXCEL para simular la performance de toberas giratorias de diferentes dimensiones pero manteniendo el diseño básico de la misma.

RESULTADOS

Para las siguientes condiciones del viento y geometría de la tobera rotatoria.

Temperatura

$$\theta = 20 (^{\circ}\text{C})$$

Presión atmosférica

$$P = 101098 \text{ (Pa)}$$

Densidad del aire (entrada)

$$\rho_e = 1.229 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

Viscosidad del aire

$$\mu = 1.83 \times 10^{-6} \text{ (Pa s)}$$

Velocidad del viento

$$V = 10 \text{ (m/s)}$$

Diámetro de la tobera

$$\Phi = 0.4 \text{ (m)}$$

Diámetro de los tubos de salida

$$\Phi_t = 0.1 \text{ (m)}$$

Número de tubos de salida

$$N = 8$$

Longitud de la tobera

$$L = 0.4 \text{ (m)}$$

Rugosidad de la tobera

$$\varepsilon = 10^{-4} \text{ (m)}$$

Factor K1 (codo 90°)

$$K1 = 0.6$$

Factor K2 (contracción 4/1)

$$K2 = 0.45$$

Factor K total en codos

$$K = 1.05$$

Aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra

$$g = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Coefficiente de fricción rotacional de torque viscoso

$$c_r = 0.008 \text{ (m N s)}$$

Coefficiente de carga de torsión del generador eléctrico

$$c_c = 0.08 \text{ (m N s)}$$

Rendimiento de conversión de energía mecánica a eléctrica

$$R_{me} = 80 (\%)$$

$$R_{mec} = \frac{31.8586(W) 100(\%)}{77.2205 (W)} = 41.25 (\%)$$

CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha logrado desarrollar un procedimiento para evaluar teóricamente la performance energética de un aerogenerador tipo tobera rotatoria, empleando datos fisicoquímicos del aire, datos meteorológicos, geometría de la tobera, fuerzas de fricción y torques magnéticos. Se considera que el flujo de aire es un gas ideal isotérmico.

Se han elaborado algoritmos matemáticos con los cuales hemos confeccionado un programa de cómputo de simulación, usando la herramienta informática EXCEL.

El rendimiento del aerogenerador para convertir energía eólica en energía mecánica rotacional de la tobera, para una velocidad del viento $V = 10$ (m/s) en condiciones normales de presión y temperatura, empleando el modelo de evaluación, es.

$$R_{mec} = \frac{P_m 100(\%)}{P_{eol}}$$

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bird Byron R., Steward Warren E., Lightfoot Edwin N.: Transport Phenomena. Edit John Wiley & Sons, Inc. 2009.
2. Chhabra R. P., Richardson J. F.: Non Newtonian Flow in the Process Industries (fundamentals and engineering applications). Edit. Butterworth – Heinemann. 2000.
3. Giles Randal V.: Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. McGraw-Hill. 2008.
4. Shames: La mecánica de los fluidos. Edit. McGraw-Hill. 2005.
5. Streeter: Mecánica de fluidos. Edit. McGraw-Hill. 2005.
6. White Frank M.: Fluid Mechanics. Edit. McGraw-Hill. 1995.
7. White Frank M.: Viscous Fluid Flow. Edit. McGraw-Hill. 1991.
8. http://es.wikipedia.org/wild/Mec%3%a1nica_de_fluidos. 2010.