

# Ensayo en túnel de viento de modelos de rotores savonius modificados

Ivan Elgue <sup>a</sup>, Alejandro Gutierrez <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *IMFIA FING UdelaR Uruguay, ielgue@fing.edu.uy*

<sup>b</sup> *IMFIA FING UdelaR Uruguay, aguti@fing.edu.uy*

## RESUMEN:

En este trabajo se describe un banco de ensayo de modelos de rotores de aerogeneradores de eje vertical. El banco de ensayo se encuentra instalado en el túnel de viento de Facultad Ingeniería UdelaR. Se describen los resultados de ensayos de modelos a escala de rotores tipo savonius modificados. Entre las modificaciones realizadas al rotor se encuentra el cambio de radio de curvatura de la pala, variación del espaciado entre las palas OL, su relación de aspecto H/D y la variación de la forma de las tapas del rotor. Se encuentra que el espaciado óptimo entre las palas está en el entorno del 14% del diámetro del rotor y el coeficiente de potencia máximo ronda los 0.16. Para los rotores con variación en la curva de la pala se encuentra que el coeficiente de potencia máximo desciende a medida que el radio de curvatura de la pala aumenta. En la relación diámetro y altura no se observa aumento de coeficiente de potencia a medida que la relación H/D aumenta. Se evalúan 2 formas de tapas, una circular y otra elíptica, el  $C_p$  máximo del rotor con la tapa circular.

PALABRAS CLAVE: Eólica, savonius, túnel de viento, microgeneración

## 1 INTRODUCCIÓN

La micro generación eólica alcanza hacia el año 2015 las 990.000 unidades instaladas, alcanzando una potencia global de 945 MW según la World Wind Energy Association ( WWEA) [1]. A diferencia de la energía eólica a gran escala no se ve un crecimiento tan significativo. Entre las razones del poco crecimiento de la micro eólica corresponde al elevado precio de los equipos en comparación con el costo de la energía. El precios de los sistemas eléctricos auxiliares de los micro aerogeneradores tiende a la baja con lo que la ecuación económica tiende a equilibrarse. Los equipos de microgeneración eólica pueden clasificarse en dos tipos básicos, turbinas eólicas de eje vertical o VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) y turbinas eólicas de eje horizontal HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine). Entre los equipos VAWT se su clasifican según su modo de funcionamiento los cuales son por fuerzas sustentación, en dichos aerogeneradores se tiene palas con perfiles aerodinámicos (Darrieus) o por empuje o arrastre (Savonius) .

## 2 ANTECEDENTES

Varios autores han realizado diversos estudios experimentales sobre rotores Savonius[2]. En estos estudios se varía las dimensiones más básicas del rotor. La variación del overlap actúa directamente sobre el coeficiente de potencia, la ausencia de overlap disminuye el rendimiento en 17% [4]. Otros autores modifican la forma de la curva de la pala y las longitudes de las mismas respecto al eje [3], [13]. 20% de aumento en  $c_p$  es conseguido por [6] extendiendo de forma recta el borde exterior de la pala. El desempeño de rotores savonius en función del número de palas del es estudiado por [9] [11] [12]. El funcionamiento del rotor con palas curvas torcionadas (twisted blades) y palas helicoidales fueron evaluados en [4]. La influencia que tiene la forma de las tapas sobre el rendimiento es estudiada en [4], [7]. Otros autores proponen diseños con modificaciones sobre el exterior del rotor de forma conducir y concentrar el flujo fueron realizadas por [8]. Simulaciones numéricas realizadas por [14] evalúan los efectos de una estructura auxiliar que conduce una parte del flujo y la inyecta en la parte posterior del rotor. Se logra  $c_p$  de 0.52 lo que implica 270% de aumento. Una actualización [15] de estas simulaciones presentan  $C_p$  máximos de 0.3.

## 3 BANCO DE ENSAYO Y METOLOGIA

El banco de ensayo se instaló en el túnel de viento de Facultad de Ingeniería UdelaR Figura 1, el mismo es del tipo "capa límite o atmosférica" el cual tiene una zona de longitud de 17 m de longitud, 1.8m de ancho y 2.25 metros de alto. El túnel puede alcanzar una velocidad de viento de trabajo de hasta 30 m/s.

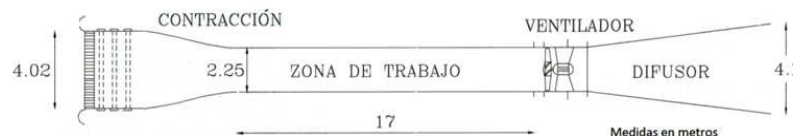


Figura 1. Principales dimensiones del túnel de viento de la Facultad de Ingeniería UdelaR .

A los efectos de caracterizar el funcionamiento de los modelos de rotores es necesario calcular la potencia en el eje dimensiones características para lo cual es necesario medir el torque, la velocidad de giro, por otro lado se debe calcular la energía cinética disponible en el flujo, para lo cual se mide la velocidad del flujo incidente sobre el rotor. Para medir la velocidad de giro del rotor y el torque entregado por el viento al rotor se utiliza un torquimetro y taquimetro interface T25. La velocidad de flujo de aire túnel se mide mediante un tubo pitot En la Figura 2 se presenta un esquema del banco de ensayo de rotores de aerogeneradores de eje vertical

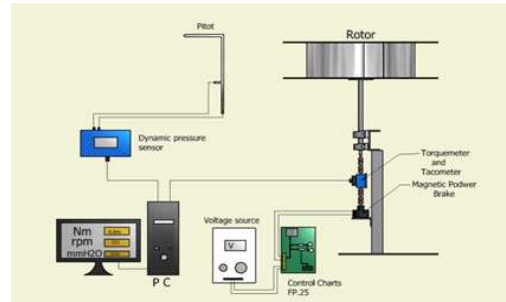


Figura 2. Esquema de banco de ensayo de modelos de rotores de aerogeneradores de eje vertical.

Para imponer el torque resistivo en el eje de giro, se utiliza un freno de polvo magnetico, esto permite fijar el torque en los valores deseados. En la metodología de ensayo primero se fija la velocidad del flujo de aire en el túnel de viento, dejando fija la frecuencia de alimentación del motor del ventilador del túnel, luego se varía y se recorre todo el rango de torque resistivo registrando las 3 variables, el proceso se repite variando la velocidad del flujo en el túnel de viento.

Los rotores ensayados son de tipo savonius, estos rotores funcionan mediante fuerzas de arrastre. Las dimensiones características de dichos rotores (Figura 3) son diámetro de pala ( $d$ ) y diámetro del rotor ( $D$ ), altura ( $H$ ) y separación central entre sus palas ( $e$ ).

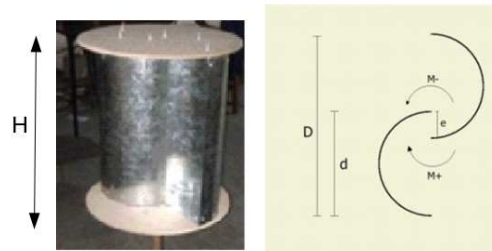


Figura 3. Principales dimensiones de un rotor savonius.

Los parámetros adimensionados que caracterizan el desempeño de los rotores son el coeficiente de potencia ( $C_p$ ) (1), y la velocidad específica o Tip Speed Ratio (TSR) (2). Siendo  $\rho$  la densidad del aire,  $A$  el área de barrido de palas del aerogenerador,  $V$  la velocidad del flujo en el túnel de viento corregida  $V_c$ , debido al efecto de bloque en el túnel de viento [5],  $T$  el torque en eje,  $\omega$  su velocidad de giro,  $r=D/2$ .

$$C_p = \frac{T \omega}{\frac{\rho A V_c^3}{2}} \quad (1)$$

$$TSR = \frac{r \omega}{V_c} \quad (2)$$

## 4 ENSAYOS

Con el objetivo de evaluar el impacto de modificaciones en el rendimiento de los rotores. Se generan variaciones sobre la separación entre las palas (OverLap), la relación entre altura y diámetro (relación de aspecto), el radio de curvatura de las palas y la forma de las tapas del rotor (end plates).

### 4.1 Variación de OL

Uno de los parámetros principales que influyen en el funcionamiento del rotor savonius es el llamado overlap (OL) el cual representa la superposición de las dos palas  $OL=e/D$ . En este experimento se ensayaron 3 rotores con overlap diferente, manteniendo como único parámetro fijo el diámetro de la pala ( $d$ ). De esta manera definiendo el overlap deseado se calcula el diámetro exterior ( $D$ ). Los overlap elegidos fueron 9%, 14% y 25%. Las dimensiones de los rotores se muestran en la tabla 1. En la figura 4 se muestra el coeficiente de potencia ( $C_p$ ) en función de la velocidad específica (TSR)

Rotor	D (cm)	d (cm)	Altura (cm)	e (cm)	OverLap (%)
1 OL 9	70	40	17.8	10	14
2 OL 14	73.3	40	17.8	6.7	9
3 OL 25	63.8	40	17.8	16.2	25

Tabla 1. Principales dimensiones de un rotor savonius.

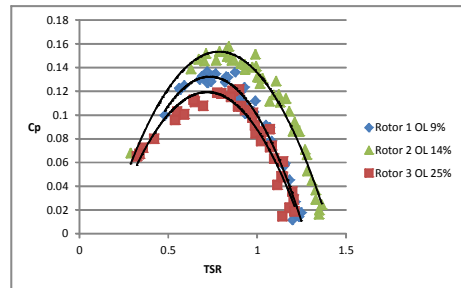


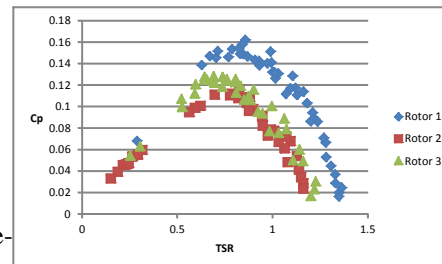
Figura 4. Curvas  $C_p$ -TSR para rotores con diferente OL.

### 4.2 Variación de la relación diámetro y altura

Este experimento indaga sobre otra dimensión relevante del rotor savonius llamada relación de aspecto definida como  $H/D$ . La relación entre el diámetro y la altura del rotor es una de las primeras variables a elegir a la hora de diseñar un rotor. Aquí se ensayaron 3 rotores con igual diámetro de pala y el overlap pero diferentes alturas.

Rotor	D (cm)	d (cm)	Altura (cm)	e (cm)	OverLap (%)
1	70	40	17.8	10	14
2	70	40	10.8	10	14
3	70	40	25	10	14

Figura 5. Tabla de Dimensiones y Curvas  $C_p$ -TSR para diferentes  $H/D$ .



### 4.3 Ensayo variación de Curva de la pala

Se realizaron modificaciones sobre la pala del rotor 1 aumentando el radio de curvatura ( $R_o$ ) de la pala. Las dimensiones de las palas y los rotors se muestran en la tabla 2. Los resultados y esquema de las palas se muestran en la Figura 6.

Rotor	D (cm)	d (cm)	Altura (cm)	e (cm)	OverLap (%)	Ro (cm)
1	70	40	17.8	10	14	20
4	70	40	17.8	10	14	20.5
5	70	40	17.8	10	14	23
6	70	40	17.8	10	14	28.2

Tabla 2. Principales dimensiones de un rotor savonius.

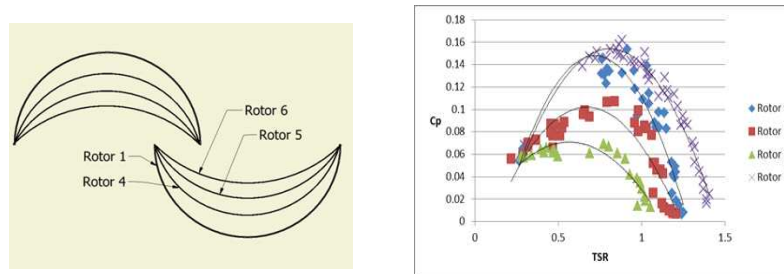


Figura 6. Esquema de palas con diferente  $R_o$  y curvas  $C_p$ -TSR.

Se puede notar una disminución del rendimiento a medida que aumenta el radio de curvatura de la pala.

## 5 VARIACIÓN DE LAS TAPAS

La forma de las tapas del rotor tiene también una gran incidencia sobre el funcionamiento y la ausencia de las mismas ha demostrado generar una sensible disminución de  $C_p$ (7). En este experimento se varían las tapas del rotor 1 hacia una elipse. El nuevo rotor se denomina Rotor 1 modificado (Rotor 1M). En la Tabla 3 se muestran las dimensiones de los rotores y en la Figura 7 se muestra un esquema de los rotores y los resultados obtenidos.

Rotor	D (cm)	d (cm)	Altura (cm)	e (cm)	OverLap (%)	End Plates
Rotor 1	70	40	17.8	10	14	Circular
Rotor 1M	70	40	17.8	10	14	semi-elíptica

Tabla 3. Dimensiones de los rotores.

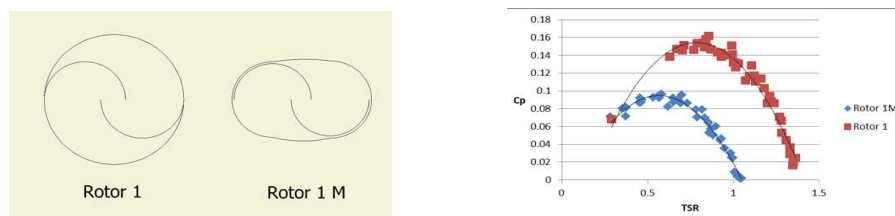


Figura 7. Esquema de rotores y curvas  $C_p$ -TSR.

## 6 CONCLUSIONES

El banco de ensayo diseñado cumple con todas las prestaciones necesarias para la caracterización del funcionamiento de los rotores. Estos ensayo de rotores confirman resultados obtenidos en la bibliografía y demuestran algunos aspectos interesantes de modificaciones a los rotores. La modificación de las tapas del rotor disminuye sensiblemente el coeficiente de potencia. También lo disminuye aumentar el radio de curvatura de la pala. Otro aspecto confirmado es la influencia que tiene la separación de las palas entre si con respecto al rendimiento del rotor, los valores máximos de  $C_P$  se obtuvieron para  $OL=14\%$ .

## 7 REFERENCIAS

- [1] Latest global small wind turbines statistics. Recuperado. <https://wwindea.org/blog/2017/06/02/wwea-released-latest-global-small-wind-statistics/>
- [2] [Alkwa, J.V. y Vielmo, H.A. ( 2012). A review on the performance of savonius wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3054-3064.
- [3] Sasha, U.K. y Thotla, S. (2008). Optimum design configuration of savonius rotor through wind tunnel experiment. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96, 1359-1375.
- [4] Ricci, R y Romagnoli, R.(2016). Experimental study on a savonius wind rotor for street lighting. Applied Energy, 161, 143-152. <https://doi-org.proxy.timbo.org.uy:88/10.1016/j.apenergy.2015.10.012>
- [5] Ross, I. y Alman, A. (2011) Wind tunnel blockage corrections: Review and application to savonius axis wind turbines. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99, 523-538.
- [6] Altan, D. y Altan, G. (2016). Investigation of 3D printed savonius rotor performance. Renewable Energy, 99, 584-591.
- [7] Soo Jeon, K y Ik Jeong, J. (2015). Effects of end plates with various shapes and sizes on helical savonius wind turbines. Renewable Energy, 79, 167-176. <https://doi-org.proxy.timbo.org.uy:88/10.1016/j.renene.2014.11.035>
- [8] Altan, B. D. y Atilgan, M. (2008). An experimental study on improvement of a savonius rotor performance with curtaining. Experimental Thermal and Fluid Science, 32, 1673-1678. Doi: 10.1016
- [9] [R Gupta, R. y Biswas, A. (2007). Comparative study of three-Bucket savonius rotor with a combined three bucket savonius –three bladed darrieus. Renewable Energy, 33(9), 1974-1981.
- [10] Hoon Lee, J y Tae Lee, y. (2016). Effect of the twist angle on the performance of savonius wind turbine. Renewable Energy, 89, 231-244. <https://doi-org.proxy.timbo.org.uy:88/10.1016/j.renene.2015.12.012>
- [11] Wenehenubun, F. y Saputra, A. (2015). An experimental study on the performance of savonius wind turbines related with the number of blades. Energy Procedia, 68, 297-304.
- [12] [Fleming, P.D. y Probert, S.D. (1985). Designs and performances of flexible on taut sail Savonius – Type Wind – Turbines. Applied Energy, 19, 97-110.
- [13] Tartufery, M. y D`Alessandro, V. (2015). Enhancement of savonius wind rotor aerodynamic performance: a computational study of new blades shapes and curtain systems. Energy, 79, 371-384.
- [14] [EI Askary, W.A. y Nasef, M.H. (2015). Harvesting wind energy for improving performance of savonius rotor. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 139, 8-15.
- [15] Soo Jeon, K. y Ik Jeon, J. (2015). Effects of end plates with various shapes and sizes in helical savonius wind turbines. Renewable Energy, 79, 167-176.