

Coeficientes de potencia en molinos Savonius

La mayoría de los trabajos en los Molinos de Viento tipo savonius se han realizado experimentalmente por la dificultad de encontrar una expresión teórica que relacione la máxima eficiencia con las características del modelo. Todos los trabajos tienden a encontrar una forma de los rotores que mejoren su eficiencia o coeficiente de potencia. Como consecuencia de la aparición de un artículo en la revista ETA (6) en la cual los autores obtienen un $C_{p_{max}} = 0,42$, se hace un resumen de los $C_{p_{max}}$ encontrados internacionalmente, de las características de dichos rotores y algunas observaciones pertinentes.

JULIO MARIO RODRIGUEZ DEVIS
Ingeniero Mecánico M. Sc.
Profesor Asociado. Universidad Nacional

Los Molinos de Viento Savonius están clasificados entre el grupo de molinos tipo arrastre, esto es, la característica aerodinámica de elevación no es importante en la generación de su movimiento (5) siendo la fuerza de arrastre la productora de la potencia útil.

Se ha intentado mejorar su eficiencia desde su invención ocurrida en 1924 y realizada por el ingeniero finlandés Sigurd Savonius. En la figura 1 se muestran varias alternativas de desarrollo, habiendo molinos de 2, 3, 4 y más aspas. Con relación al artículo "Molinos de Viento Savonius" escrito por Luis J. Cardona y Javier J. Jiménez (6), se intentará comparar los resultados obtenidos con los realizados a nivel internacional para de esta manera mejorar los análisis de resultados que se produzcan en las investigaciones.

CARACTERISTICAS DE DISEÑO CON BASE EN LA EXPERIMENTACION

Para utilizar la terminología internacional existente, se definirá la eficiencia como el coeficiente de potencia (C_p) y es la potencia generada por el

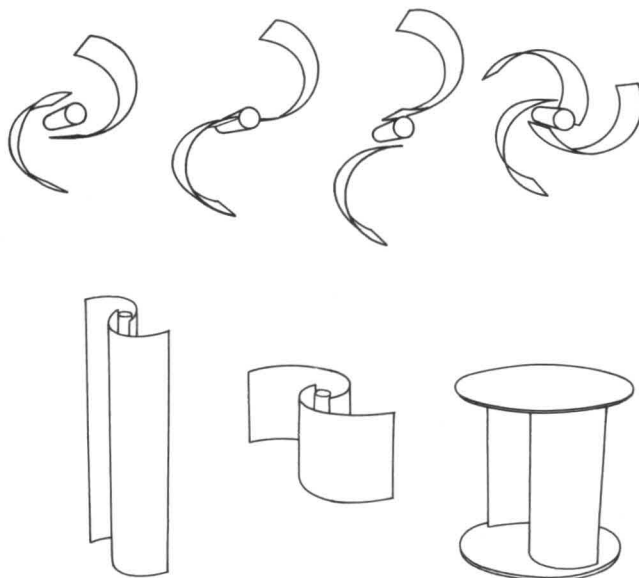


FIGURA 1. Tipos de molinos de viento tipo Savonius.

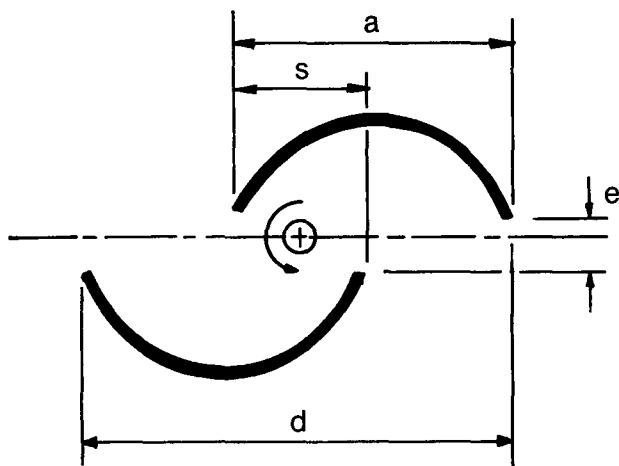


FIGURA 2. Parámetros de un rotor Savonius.

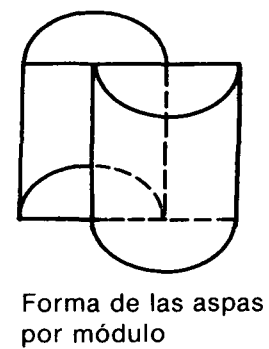
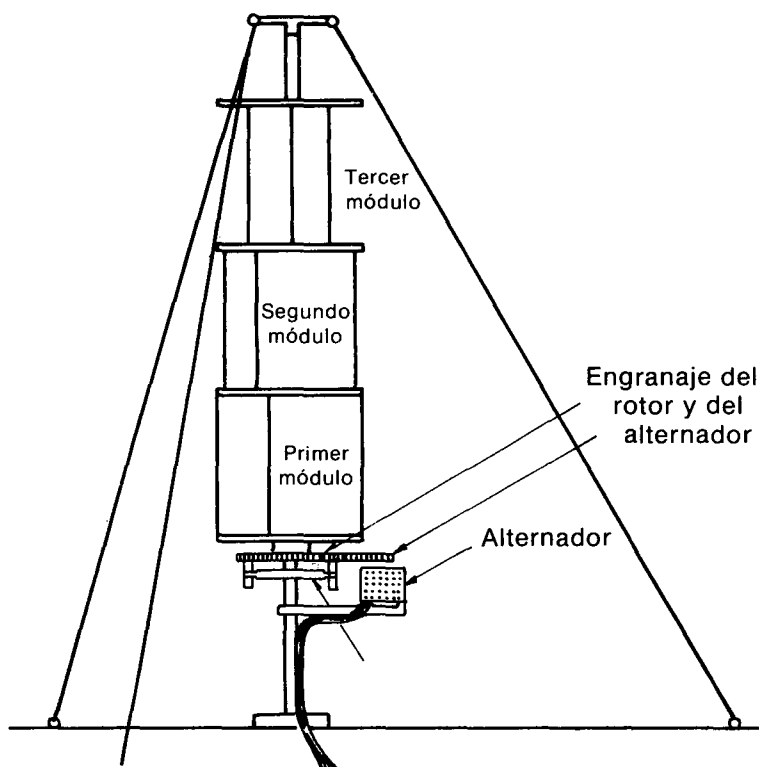


FIGURA 3. Rotor Savonius con tres módulos.

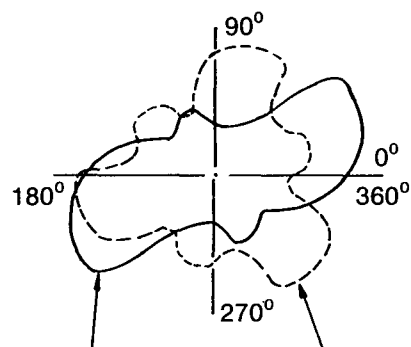
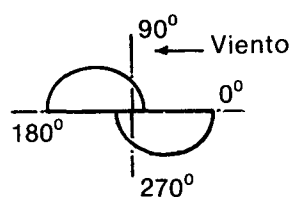
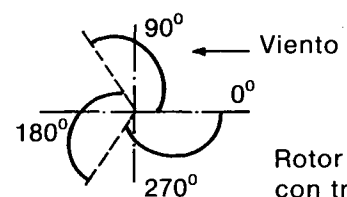


FIGURA 4. Perfil del torque estático para un rotor Savonius de dos y de tres aspas.

Rotor Savonius con dos aspas



Rotor Savonius con tres aspas.



molino de viento dividida por la potencia suministrada por el viento ($1/2 \rho V^3 A$). Se define también el coeficiente de velocidades o velocidad específica (λ) como la relación entre la velocidad tangencial en la punta y la velocidad del viento ($\lambda = \Omega R/V$).

La figura 2 muestra los parámetros más importantes de un rotor Savonius, siendo S el traslapeo y d la distancia comprendida entre los puntos extremos de un álabe. Se ha determinado, por los ensayos de los diversos modelos, que el número óptimo de aspas es de dos. Sivase garam, Shankar y Sandia Laboratories hallaron que el coeficiente de potencia máximo para un rotor de 2 aspas es de 30 a 50% mayor que el de 3 aspas (1).

Experimentos han mostrado que para alcanzar un C_p máximo las relaciones geométricas deben ser: $s/a = 1/6$ (2); s/d entre $1/10$ y $1/20$; el cruzamiento de las aspas, e, igual a cero; la relación de aspecto, o sea la relación entre la altura del rotor y d debe ser 2; los extremos del rotor deben estar cubiertos y la curvatura de los álabes debe ser simétrica (1).

Se ha encontrado que hay fuertes variaciones de torque durante las revoluciones del rotor, pudiéndose atenuar el efecto usando un rotor con 3 o más aspas o colocando rotores desfasados uno encima del otro (módulos). Para los rotores con módulos, desde el punto de vista de la

potencia, los rendimientos permanecen invariables pero el torque se realiza fácilmente debido a la desaparición de las zonas con par negativo (2). La figura 3 muestra un rotor de 3 módulos desfasados 120° . Los módulos deben estar aislados uno del otro para prevenir flujos secundarios que reduzcan el coeficiente de potencia (3). La figura 4 muestra el perfil del torque estático para un rotor de 2 y otro de 3 aspas. En este caso, la eficiencia del rotor de 3 aspas disminuye como consecuencia de la separación del flujo, turbulencia, vórtices y flujos secundarios, pero el torque es menos cíclico.

Según los estudios canadienses (2), las potencias son máximas cuando las velocidades específicas están comprendidas entre 0.9 y 1.0 para un rotor construido con semicilindros de iguales dimensiones.

COEFICIENTE DE POTENCIA MAXIMO

Experimentalmente se ha encontrado que el máximo coeficiente de potencia alcanza el valor de 0.33. La figura 5 muestra cuatro curvas de C_p vs λ recopilados de (1), (2), y (3). Se observa que el máximo coeficiente de potencia es 0.32 a un λ de 1.0 para un rotor con su superficie diseñada apropiadamente (ie. tipo NACA). En la figura 6, extraída de (3), se comparan los diversos C_p en función de λ por varios

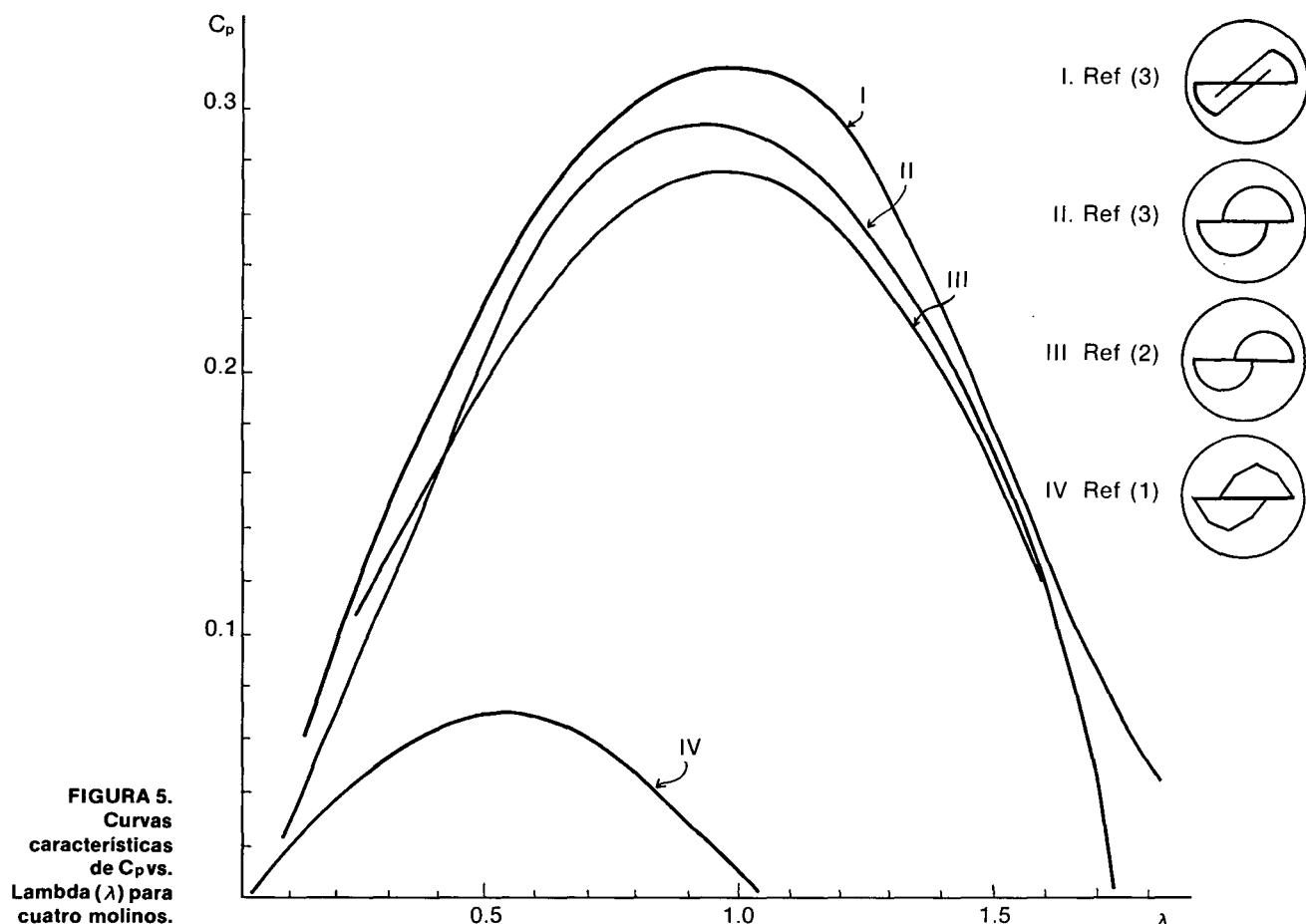


FIGURA 5.
Curvas
características
de C_p vs.
 λ para
cuatro molinos.

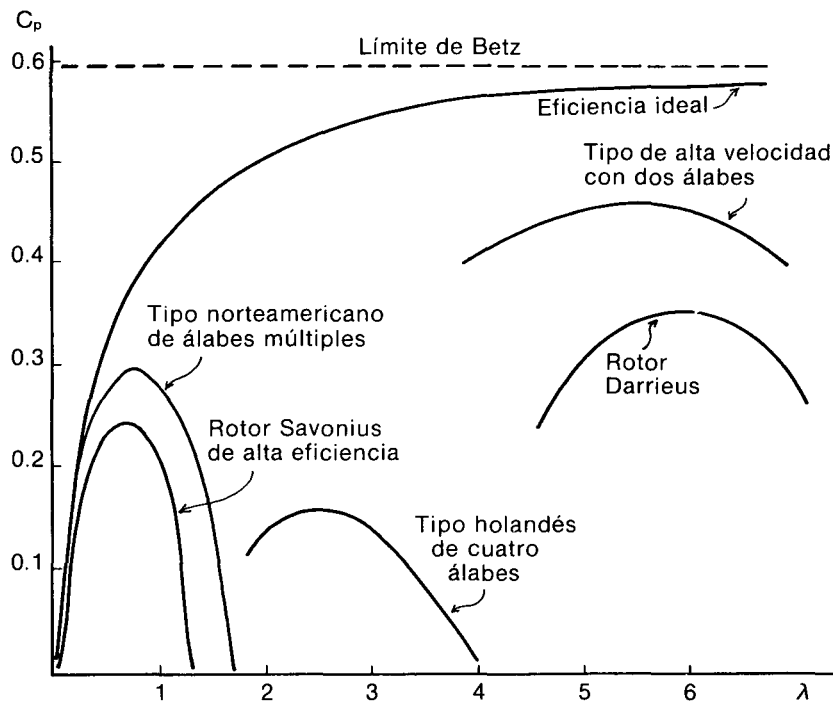


FIGURA 6. Curvas características de C_p vs λ para varios molinos de viento.

tipos de molinos de viento. Se observa la eficiencia ideal para los molinos acercándose al límite de Betz de $16/27$. En la práctica, el máximo C_p alcanzado está por los 0.45 y es el producido por un aerogenerador diseñado en Dinamarca, el NIBE, que produce 630 Kw, con tres aspas tipo NACA. Teóricamente se ha tenido dificultad en desarrollar una ecuación que relaciona C_p con las características del rotor Savonius. En (3) se menciona una teoría desarrollada por Renha para Savonius, con álabes de sección semicircular, $e = 0$, la dificultad consiste en que se debe primero encontrar un coeficiente de entrada hallado experimentalmente.

Gouriéres propone una ecuación más simplificada:

$$C_{pmax} = 0.53(\lambda_0 - 0.2)(1.7 - \lambda_0) \quad (1)$$

$$0.9 < \lambda_0 < 1.6$$

$$C_{pmax} = 0.5\lambda_0 - 0.2\lambda_0^2 \quad (2)$$

$$0. < \lambda_0 < 0.9$$

Estas ecuaciones están dadas para un rotor de sección semicircular, con $s/a = 1/6$. Para encontrar el resto de la curva, Lysen (1) propone:

$$C_p = -C_{pmax} \left[\left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^2 - 2 \frac{\lambda}{\lambda_0} \right] \quad (3)$$

en donde λ_0 es el lambda de diseño y λ es el normal.

COMPARACION DE RESULTADOS

En la figura 7 se esquematizan el rotor del Savonius desarrollado por Cardona y Jiménez y mostrado en la figura 1 del artículo en referencia; además se reproduce un rotor de cuatro aspas con perfil mejorado.

Comparando las dos figuras, se observa que el modelo desarrollado se aproxima al de cuatro aspas, dos de las cuales han sido desplazadas hacia los extremos. Como se estipuló anterior-

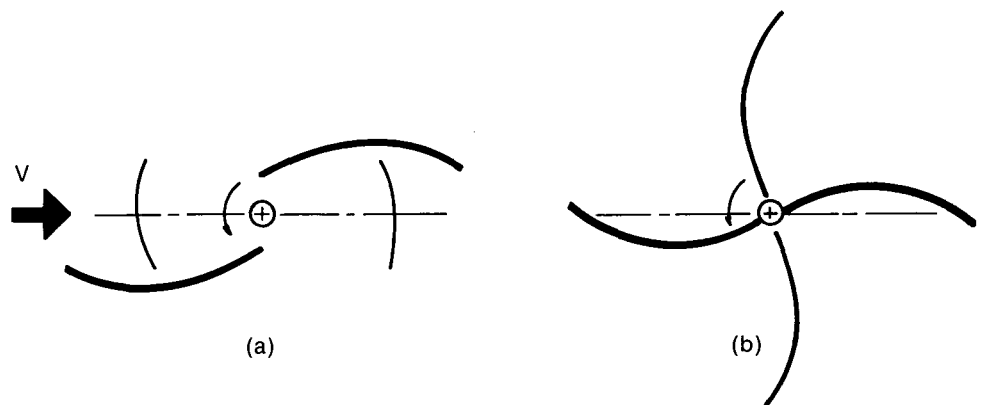
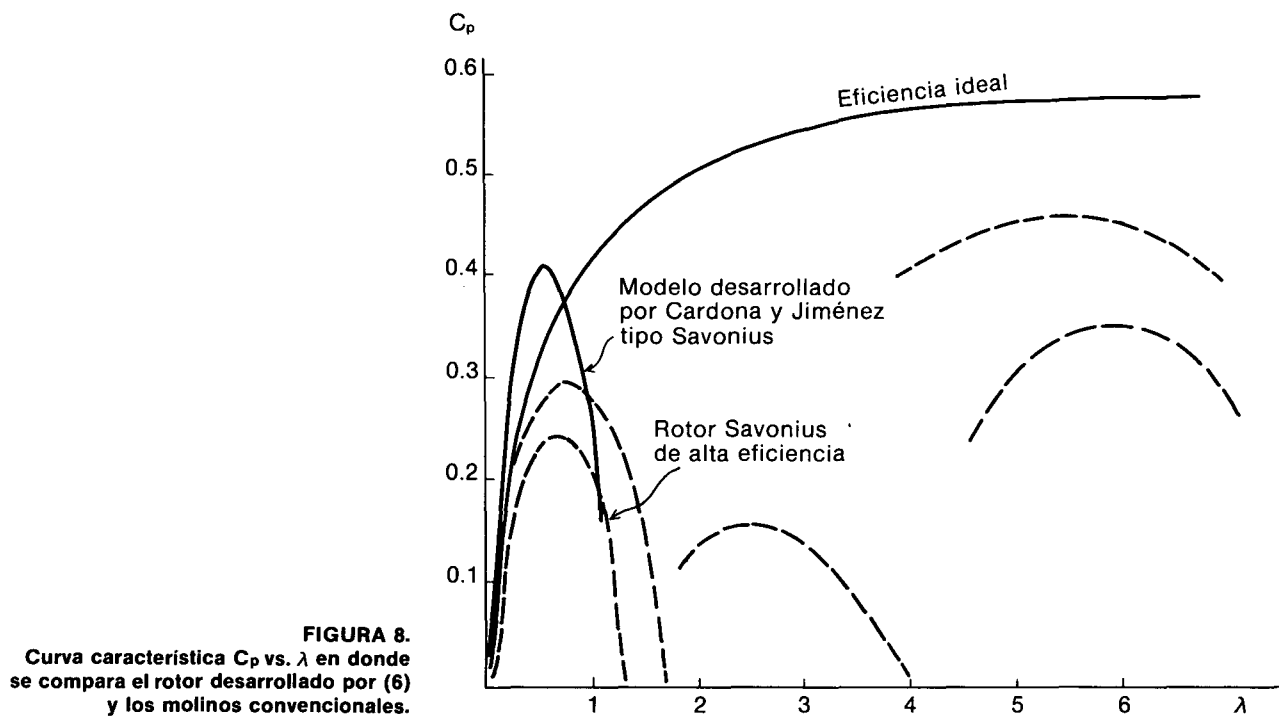


FIGURA 7.
a) Rotor diseñado por (6).
b) Rotor característico de cuatro aspas.



mente, el modelo de cuatro aspas tiene un coeficiente de potencia menor que el de dos aspas, debido a la interferencia del flujo entre las aspas que producen flujos secundarios, separación y turbulencia.

Al correr las aspas, se mejora el torque cuando el viento esté en la posición mostrada en la figura, pero al girar 90° el torque variará en intensidad presentándose una carga cíclica. Por otra parte, al haber un espacio e diferente de cero, la eficiencia disminuirá aún más.

La figura 8 muestra la curva obtenida por Cardona insertada en la curva general. El modelo tiene un $C_{p \max}$ por fuera de la curva de la eficiencia ideal de los molinos y muy superior a los de perfiles aerodinámicos óptimos.

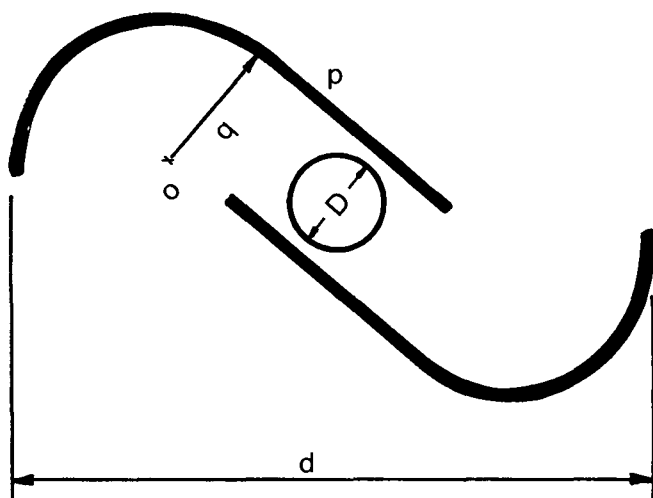


FIGURA 9. Parámetros geométricos.

CONCLUSIONES

- El molino Savonius desarrollado por Cardona y Jiménez contradice la experimentación internacional, saliéndose de los parámetros teóricos desarrollados para las turbinas eólicas.
- El $C_{p \max}$, tanto teórico como experimental, es muy grande, lo que induciría que su molino, catalogado como uno de los más ineficientes, puede llegar a ser el mejor y más eficiente de todas las turbinas eólicas, única en el mundo.

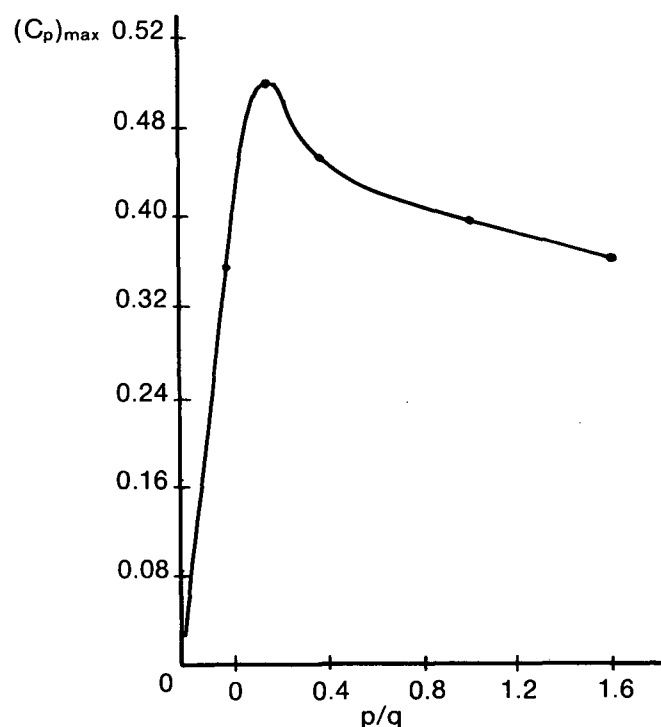


FIGURA 10. Efecto de p/q en la variación del $(C_p)_{\max}$.

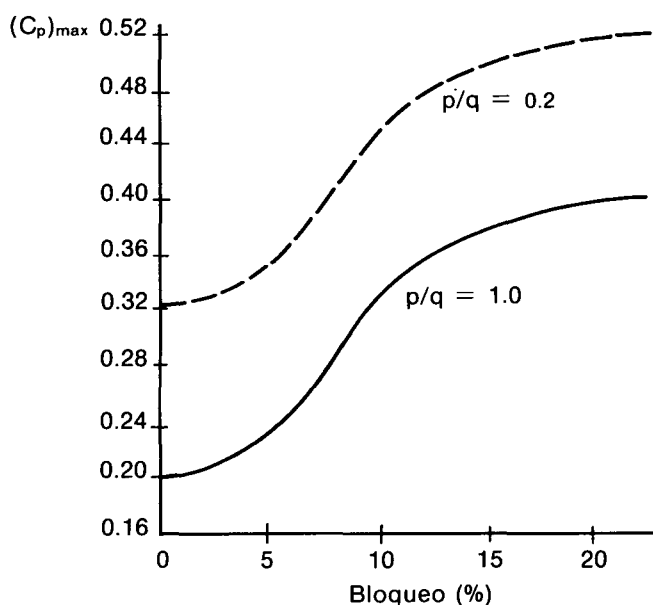


FIGURA 11. Efecto del bloqueo sobre el $(C_p)_{\max}$ del Savonius.

NOTA

Posteriormente a la elaboración del artículo, el autor recibió un trabajo presentado a la Conferencia Europea de Energía Eólica (Alemania Federal, 1984) por V. J. Modi, MS.U.K. Fernando y N. J. Roth de la Universidad de Colombia Británica, Canadá. El nombre del trabajo es Estudios de configuración óptima, diseño del prototipo y característica de un rotor Savonius para sistemas de irrigación. Los autores advierten que uno de los parámetros que afectan los datos de prueba en túneles de viento es el efecto de bloqueo por el confinamiento del modelo entre las paredes del túnel. El aumento "dramático" en el $(C_p)_{\max}$ es debido al aumento en la velocidad local por el bloqueo, además, un aumento en el

- Usando la ecuación 2 para $\lambda_0 = 0.65$ encontrado en el modelo, se obtiene un C_p de 0.24, lo que está de acuerdo con la experimentación. Se sugiere que el C_p real del modelo debe estar por esos valores.
- Se recomienda una revisión de la teoría y experimentación realizadas, con el fin de obtener C_p reales y evitar falsas expectativas en molinos de muy baja eficiencia.

confinamiento entre paredes del 5 al 10% puede elevar el $(C_p)_{\max}$ un 70% y de esta forma se llega a "unas características altamente optimistas si el efecto del bloqueo no es corregido". Las figuras 9, 10 y 11 muestran los resultados de dos modelos en la que se grafican el bloqueo, $(C_p)_{\max}$ y la relación de algunas características de los álabes. Como se puede observar en la figura 11, para una relación $p/q = 1.0$, sin bloqueo el $(C_p)_{\max} = 0.2$, con bloqueo de 20% el $(C_p)_{\max}$ aumenta a 0.36. En la figura 10 se observa que el máximo $(C_p)_{\max}$ es 0.50 para un $p/q = 0.2$ lo que corresponde en la figura 11 a un bloqueo del 16%; sin bloqueo el $(C_p)_{\max}$ se reduce a 0.32. La relación de aspecto óptimo se encontró de 0.77.

REFERENCIAS

1. LYSÉN, E.H.; BOS, H.G.; CORDS, E.H. Savonius rotors for water pumping. Sterning Committee and wind-energy for developing countries (Sud), The Netherlands, 1978.
2. LE GOURIERES, D. Energía Eólica. Editorial Masson, S.A. 1983.
3. Olade. Aerogeneración de energía. Documentos OLADE No. 23.
4. PRENIS, John. Energy book Nº 1. Running Press, 1975.
5. PARK, Jack. The wind power book. Cheshire Boors, 1981.
6. CARDONA, Luis J. y JIMENEZ, Javier J. Molinos de viento Savonius. Revista ETA Edición 48, Agosto 1984.