

Estudio del efecto del cambio de la rugosidad en las palas de un aerogenerador de baja potencia

Eduardo. N. Maggi¹; Ariel.N. Gamarra¹

¹UIDET LaCLyFA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, ariel.gamarra@ing.unlp.edu.ar

Palabras Clave: aerogenerador, túnel de viento, aerodinámica.

INTRODUCCIÓN

Un aerogenerador es un dispositivo mecánico que extrae energía cinética del aire y la convierte en energía mecánica, que es generalmente aprovechada para producir electricidad.

Existen diferentes tipos de aerogeneradores, pero el más común es el Aerogenerador de Eje Horizontal (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine). En esta configuración el eje rotacional del mismo está orientado horizontalmente, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Aerogenerador de eje horizontal

Los generadores eólicos de baja potencia son aquellos que entregan hasta 100 kW de potencia, utilizados principalmente para abastecer viviendas, así como establecimientos de pequeño tamaño, reservándose casi exclusivamente al ámbito privado.

Mediante la utilización de estos equipos, por si mismos o empleados en sistemas híbridos que los combinan con paneles solares, una gran cantidad de propietarios de viviendas, agricultores y propietarios de pequeñas empresas a lo largo del país serían capaces de generar su propia electricidad a partir de recursos renovables sostenibles. Teniendo la libertad de elegir cómo se produce electricidad y visualizar qué impacto económico-ambiental genera su consumo.

Se estima que, a finales de 2018, en todo el mundo, se encontraban en funcionamiento más de 1 millón de aerogeneradores de baja potencia con capacidad para generar un total de al menos 1,7 GW [1].

Desde el punto de vista de la dinámica de fluidos, la rugosidad puede ser definida como una extensión superficial de un cuerpo que penetra en la capa viscosa del fluido en contacto con la pared del mismo, denominada capa límite. Estos elementos aumentan la superficie de interacción entre fluido y sólido, provocando irregularidades y perturbando el campo de flujo dentro de dicha capa. En consecuencia, aumenta la transferencia de energía entre la superficie y el fluido, lo que afecta el rendimiento aerodinámico de los perfiles aerodinámicos que conforman cada aspa o pala.

De acuerdo con lo explicado por Schlichting [2], pequeñas fluctuaciones en los parámetros del flujo como la velocidad, presión, densidad y temperatura pueden

alcanzar valores que llegan a afectar las características del flujo, cosa que puede llevarlo del régimen laminar al turbulento.

Para cuantificar esta pérdida de eficiencia debido a la rugosidad, distintos investigadores llevan a cabo estudios experimentales en túneles de viento y simulaciones numéricas con palas de aerogeneradores y perfiles comúnmente utilizados.

Ferrer y Munduate [3] adosaron un patrón de insectos sobre las palas con un tamaño de rugosidad de $k/c = 0,0019$, pudiendo observar que el coeficiente de sustentación disminuye, especialmente para valores de ángulo de ataque elevados tanto negativos como positivos (Figura 2). Por su parte la resistencia viscosa se incrementa con la rugosidad, mientras la resistencia de presión se ve afectada a altos ángulos de ataque debido a que se produce la separación del flujo.

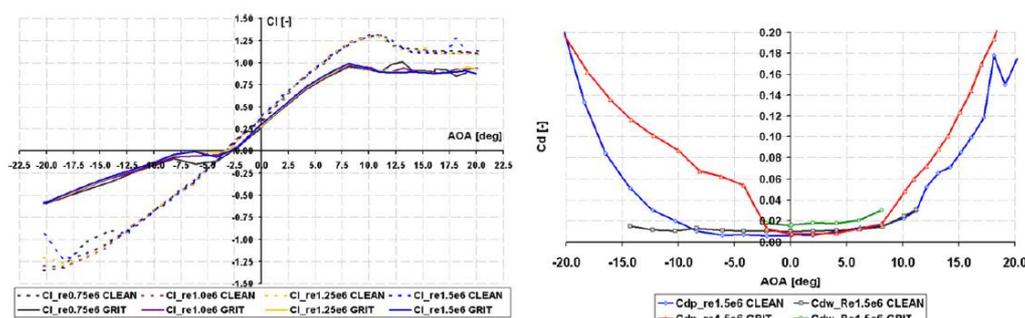


Figura 2. Curvas de los coeficientes de sustentación y resistencia para configuraciones con y sin rugosidad

Todo esto mencionado anteriormente lleva a pérdidas de eficiencia en el aerogenerador, con su consecuente reducción en la energía extraída al viento. Un buen ejemplo de la pérdida de energía es proporcionado por Khalfallah y Koliubb [4], quienes informan que tras nueve meses de operación existe una pérdida de potencia media del 50% debido a la acumulación de polvo en los perfiles de aerogeneradores horizontales en un parque eólico de Hurghada, Egipto. Los mismos concluyen que la variabilidad de la curva de potencia aumenta cuando aumenta la rugosidad de la superficie de la pala y sugieren limpiar el polvo de la superficie de las palas durante intervalos cortos para disminuir la alta reducción de potencia de salida.

Dada la problemática planteada, el objetivo de este trabajo es estimar los cambios que sufre el rendimiento de un aerogenerador de baja potencia al acumular suciedad. Además, se estudia el efecto que tiene la forma de los conos delante del generador.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar el aerogenerador en condiciones ideales llevando a cabo las correcciones necesarias de acuerdo con las condiciones de ensayo.
- Analizar los cambios en la energía extraída en cada condición y establecer relaciones con las condiciones de rugosidad de las palas.
- Analizar el efecto de la inclusión de conos en el aerogenerador, así como el de la geometría de estos.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Se utiliza un aerogenerador de eje horizontal de tres palas perteneciente a la UIDET LaCLyFA. Se plantean 7 condiciones de rugosidad distintas y se diseñan 2 conos, además de los casos en los que no se emplea cono.

El trabajo se limita a analizar lo establecido anteriormente para un único aerogenerador, analizando las relaciones en función de la velocidad de viento del túnel y no variando la

configuración de las palas ni utilizando otros sistemas, que permiten analizar los mismos efectos en relación con otros parámetros.

Para simular distintas condiciones de rugosidad sobre las palas y evaluar así los cambios producidos en el desempeño del generador, se adhirieron lijas en la posición en la que habitualmente se impregnan las partículas de polvo o insectos, teniendo en cuenta la distribución de la cuerda a lo largo de la envergadura.

En este estudio el incremento de rugosidad se hizo de manera progresiva, contando con 4 casos en total. Dado que el porcentaje de cuerda en donde se ubica la suciedad influye en la eficiencia del aerogenerador, las lijas cubrieron el 0, 15, 25 y 40 por ciento de la cuerda, a lo largo de toda la envergadura de las palas.



Figura 3. Vista frontal del aerogenerador con lijas que ocupan el 15% de la cuerda

Se utilizaron 2 alturas de rugosidad, lo que puede representar a la suciedad acumulada en dos momentos diferentes o en diferentes condiciones. Para esto se emplearon lijas de granos N°180 y 220 fabricados por 3M, con lo que se puede asegurar un diámetro medio de grano de 82 y 69 μm respectivamente.

En el desarrollo del presente trabajo se buscó obtener las mediciones de potencia eléctrica y mecánica, que se genera al exponer un aerogenerador a una corriente de aire, como la que puede generarse en el túnel de viento Dr. Jorge Colman Lerner. Para ello se utilizó el aerogenerador que se ve en la Figura 4, un tripala con un diámetro de 1.47 m capaz de generar una potencia de 800W a 1000 rpm



Figura 4. Aerogenerador utilizado

La potencia mecánica se midió mediante un torquímetro conectado al eje del generador mediante acoples flexibles. Para medir la potencia eléctrica y controlar la velocidad angular del aerogenerador durante la realización de los ensayos, se colocó en el circuito

de ensayos una impedancia de carga a la salida del aerogenerador a través de la conexión de un banco de resistencias (se utilizaron dos cargas, de $0,5 \Omega$ y 2Ω).

Con el objetivo de comprobar en primer lugar si el efecto de los conos es positivo, y en segundo lugar el efecto de relación entre el largo de los conos y su radio, se imprimieron en 3D y se probaron dos conos parabólicos con un radio de 8.55 cm. El cono corto tiene una relación L/R de 66% y por su parte el largo tiene una longitud igual al radio.



Figura 5. Conos utilizados

Todos los resultados fueron corregidos debido a la interferencia generada por el generador con las paredes del túnel. Para ello se midió la velocidad del viento en 2 posiciones dentro del túnel, una cercana y una lejana al generador y se utilizó la siguiente expresión para corregir los coeficientes de potencia.

$$C_{Pc} = C_{Pt} \left(\frac{U_t}{U_\infty} \right)^3$$

CONCLUSIONES

En primer lugar, se muestran los resultados para el aerogenerador sin rugosidad y sin cono. Se puede observar que al aplicar el factor de corrección correspondiente las medidas del Coeficiente de Potencia disminuyen, esto se debe al confinamiento de aire que ofrece el túnel de viento, haciendo que la performance del aerogenerador sea mejor.

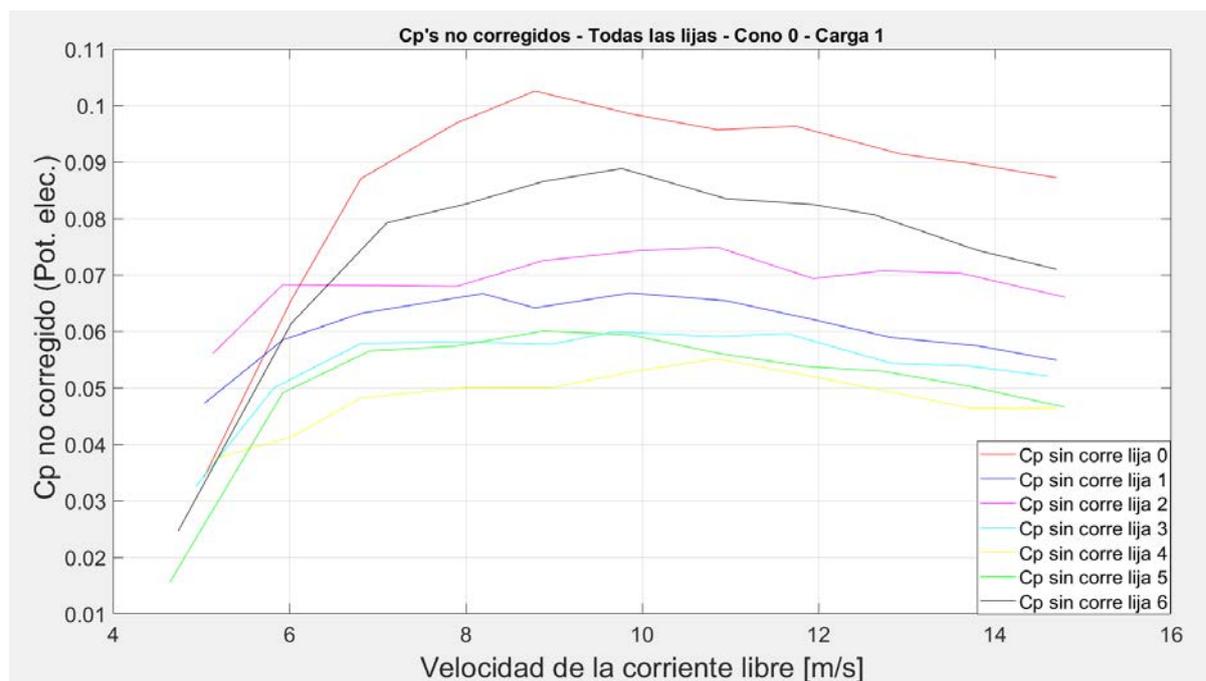


Figura 6. Coeficientes de potencia sin corregir

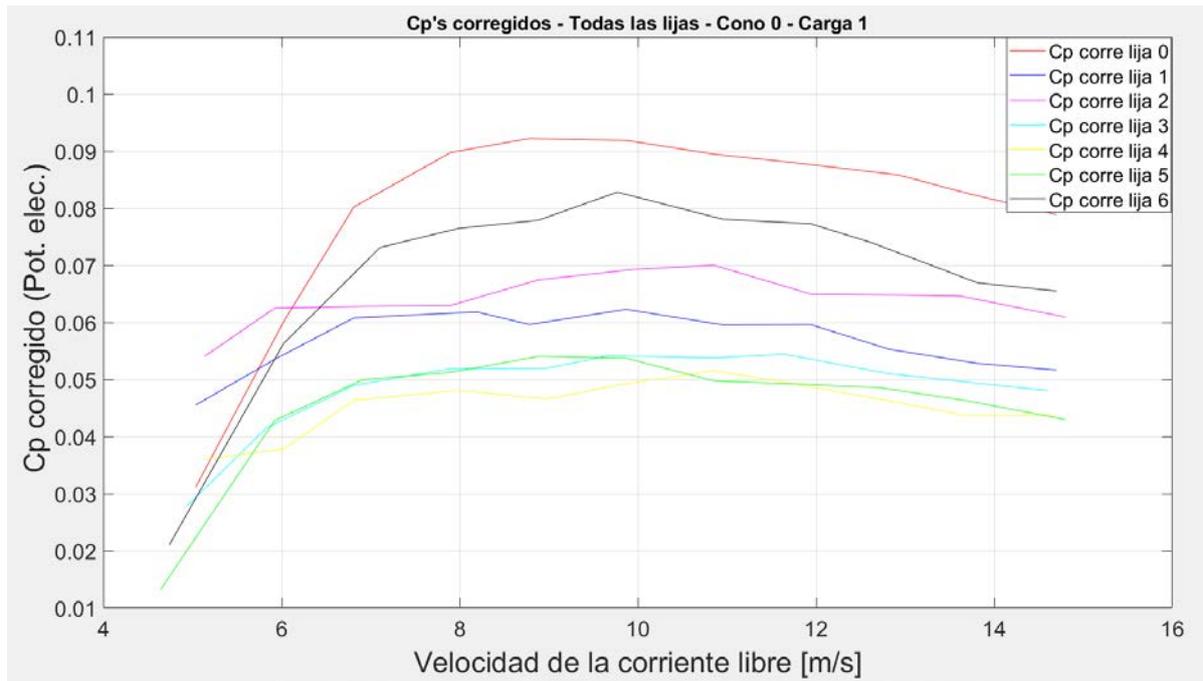


Figura 7. Coeficientes de potencia corregidos

La potencia mecánica máxima medida es de 523 W, en cambio la potencia eléctrica máxima entregada por aerogenerador es de 311 W (esto se debe al bajo rendimiento mecánico-eléctrico del aerogenerador en estudio).

A modo de ejemplo se muestran los resultados de coeficiente de potencia para el aerogenerador sin cono para 1 carga eléctrica en función de la velocidad para la lija 180 en los 3 porcentajes de cuerda.

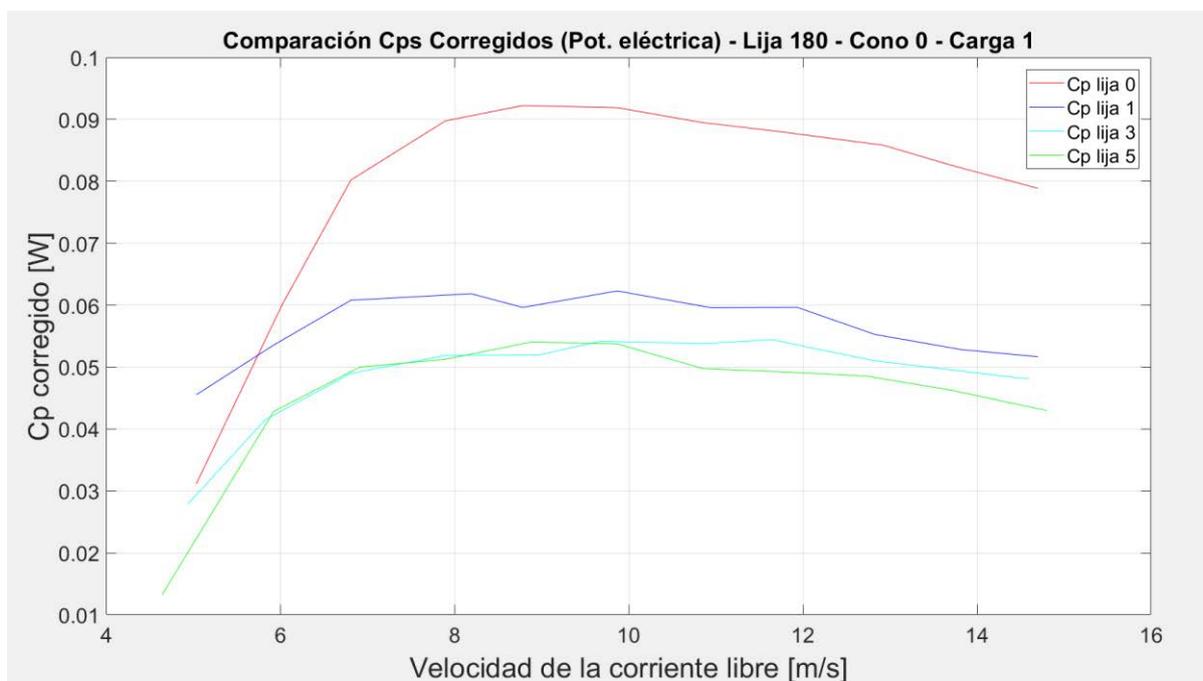


Figura 8. Coeficientes de potencia - Sin lijas y con lija 180 - Sin cono - Carga 1

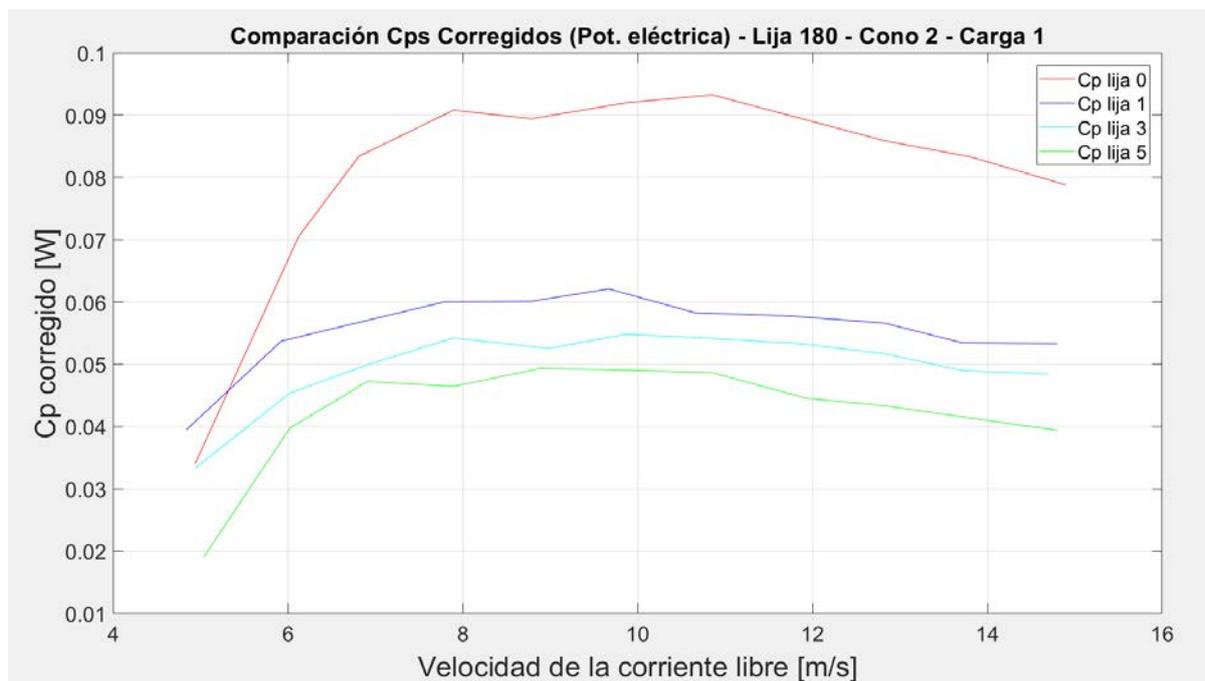


Figura 9. Coeficientes de potencia - Sin lijas y con lija 180 - Cono 2 - Carga 1

En todos los ensayos se observa que, independientemente del cono y la carga, el coeficiente de potencia disminuye en todos los casos en los que se introduce rugosidad. Además, se comprueba que tanto el incremento de la rugosidad relativa como el del porcentaje de la cuerda ocupada por la rugosidad resulta en un decremento del rendimiento de este aerogenerador.

Además, se pudo observar que, si bien el efecto de los conos es bajo no es nulo, por lo que hay que tenerlos en cuenta a la hora del diseño, dado que el incremento de potencia que estos traen aparejado puede terminar beneficiando a los usuarios desde el punto de vista económico.

Bibliografía

- [1] U. S. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, «Distributed Wind Market Report,» 2018
- [2] Schlichting H., «Boundary layer theory,» 1979.
- [3] Ferrer E, Munduate X., «CFD predictions of transition and distributed roughness over a wind turbine airfoil,» 2009.
- [4] Khalafallah & Koliub, «Effect of dust on the performance of wind turbines,» 2007.