

Fabricación de palas de una turbina eólica de eje vertical de baja potencia

Blade manufacturing of a low power vertical axis wind turbine

Juan Carlos Agotegaray¹, Andrea Pinzón¹, Sandra Hernández¹

¹Instituto de Industria – Universidad Nacional de General Sarmiento, CP: 1613, Los Polvorines, Buenos Aires, Argentina.
e-mail: jagotega@campus.ungs.edu.ar; apinzon@campus.ungs.edu.ar; shernandez@campus.ungs.edu.ar

RESUMEN

En el Instituto de Industria (IDEI) de la Universidad Nacional de General Sarmiento (UNGS) se encuentra en desarrollo un prototipo de aerogenerador de eje vertical de baja potencia para zonas urbanas. El objetivo del proyecto es adquirir los conocimientos técnicos y determinar los desafíos que se presentan en la construcción de este tipo de aerogeneradores.

Las palas son las encargadas de convertir la energía contenida en el viento en energía mecánica y transmitirla a un generador eléctrico, con lo cual, es fundamental el análisis del diseño, la fabricación e implementación de estos componentes. Existen distintos diseños que mejoran el desempeño aerodinámico de la pala, sin embargo, son más complejas de fabricar. En el caso del prototipo construido, se optó por un diseño simple de fabricación artesanal, que consiste en utilizar poliestireno expandido cortado con la forma deseada del perfil recubierto con resina epoxi reforzada con fibra de vidrio.

Durante el proyecto se espera poder fabricar distintos tipos de palas utilizando diversos métodos buscando el equilibrio entre rendimiento y costo que permita el desarrollo de una aerogenerador de diseño abierto para ser auto replicado de forma sencilla.

Palabras clave: fabricación, aerogenerador, turbina, eje vertical, poliestireno.

ABSTRACT

In the Institute of Industry (IDEI) of the National University of General Sarmiento (UNGS) is developing a prototype of low-power vertical axis wind turbine for urban areas. The aim is to acquire the technical knowledge and determine the challenges that arise in the construction of this type of wind turbines.

The blades convert wind energy into mechanical energy and transmit it to an electric generator, which is why it is essential to analyze its design, manufacture and implementation. There are different designs that improve the aerodynamic performance of the blade, however, are more complex to manufacture. The prototype is a simple handmade design, which consists of using expanded polystyrene cut with the desired shape of the profile covered with epoxy resin reinforced with fiberglass.

As a result of the project it is expected to manufacture different types of blades using different methods looking for the balance between performance and cost, which allows developing an open design wind turbine to be easily replicated.

Keywords: manufacture, wind turbine, turbine, vertical axis, polystyrene.

1. INTRODUCCIÓN

Los aerogeneradores utilizan palas para poder captar la energía cinética del viento para convertirla en energía mecánica que permita el funcionamiento de un generador eléctrico. La potencia de estas máquinas, depende principalmente de la velocidad del viento que incide sobre el aerogenerador, pero también del área que barre éste, como se define en la ecuación 1 [2]. Debido a esto, la evolución de estas máquinas se ha dado en la instalación de torres más altas, y diámetros de rotor mayores.

$$P = 0.5 * \mu * area * v^3 \quad (1)$$

Las palas presentan un diseño específico con un perfil aerodinámico que permite aprovechar la fuerza de sustentación producida por la resultante de velocidad del viento y de rotación, pero también poder soportar los esfuerzos aerodinámicos que se generan por el arrastre de la pala. Debido al movimiento de la misma, aparecen modos de oscilaciones que deben ser considerados al momento de diseñar estructuralmente la pala. Por esta razón, las palas de aerogeneradores de alta potencia están fabricadas en materiales compuestos con un alma interna que permita el refuerzo de toda la estructura.

En aerogeneradores de baja potencia, la prioridad del diseño de las palas se focaliza en el costo de las mismas, con lo cual se recurren a distintos tipos de materiales y métodos de fabricación. Existen modelos de aerogeneradores cuyas palas son construidas en madera, buscando la posibilidad de poder fabricarlas de forma artesanal y a un bajo costo. Sin embargo, en algunos casos, los diseños complejos de las palas demandan cierto conocimiento en técnicas de trabajo en madera, además del tiempo que requiere este tipo de labores. El uso de metal, principalmente aluminio o chapas de acero galvanizado, es una alternativa de material para fabricar palas robustas y resistentes, sin embargo, los diseños se condicionan debido a la flexibilidad y mecanizado de las mismas. En el caso particular de los aerogeneradores de eje vertical, la mayoría de los desarrollos que se encuentran en funcionamiento en el país son de centros de investigación, como es el Ventus de CITEDEF¹ y el GEOV del INTI². Como se mencionó anteriormente, la potencia disponible para el aerogenerador depende del área de captación de viento, la cual, en el caso de los aerogeneradores de eje vertical está determinada por la altura de la pala y el diámetro de los brazos que las sostienen. El diseño de las palas de aerogeneradores tipo Giromill está basado en un perfil aerodinámico que se extiende por una determinada altura de forma constante. En algunos casos, para mejorar el rendimiento, se recurre a diseños espiralados [1]. En el proyecto, se optó por realizar las palas a partir de materiales compuestos, utilizando un método artesanal de fabricación [2].

El perfil seleccionado para la pala es el NACA 0018 con una cuerda de 200 mm por una altura de 1 metro debido a limitaciones de la máquina de corte por hilo caliente del material poliestireno expandido. Al ser un perfil simétrico, el proceso de fabricación resulta más sencillo que si se usara un perfil asimétrico donde una cara es distinta a la otra. En la figura 1 se observan las dimensiones características de un aerogenerador de eje vertical tipo Giromill y un esquema del corte transversal de la pala utilizada en el proyecto.

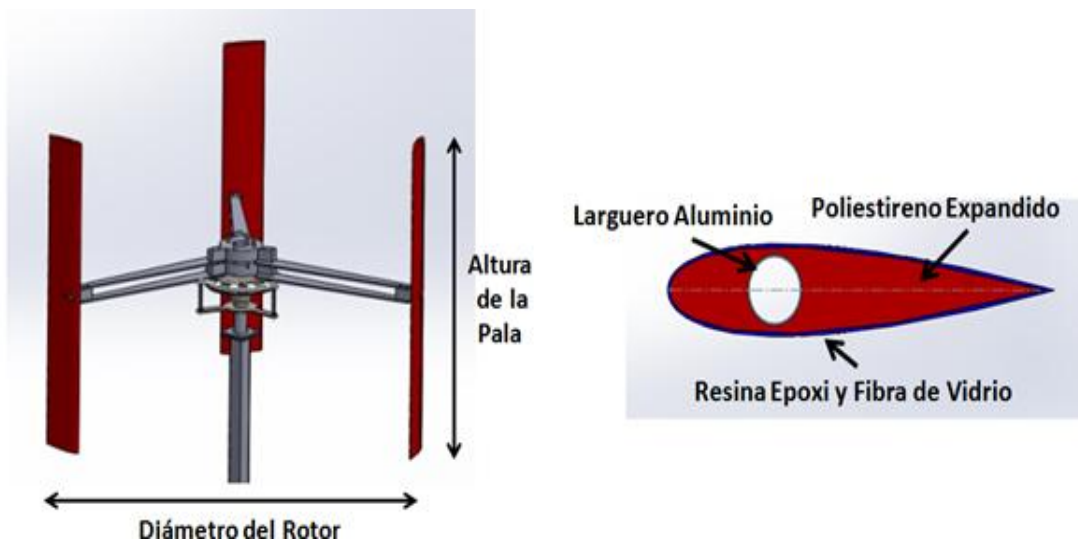


Figura 1: Dimensiones características del aerogenerador y corte de una de las palas.

¹ Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa

² Instituto Nacional de Tecnología Industrial

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de fabricación de las palas del aerogenerador comenzó a partir de un bloque de poliestireno expandido de alta densidad (20 kg/m³) de un tamaño aproximado al del perfil aerodinámico. Con una máquina de corte por hilo caliente, se talló la forma del perfil, teniendo en cuenta que el interior de la pala debe tener un caño de aluminio como larguero, que refuerce la estructura. Esto condiciona el proceso, ya que el corte del perfil se tiene que realizar en dos partes, para calar el agujero. Para poder fijar las palas a los brazos del generador, se talla una ventana en el lateral de las mismas. Entonces, al finalizar el mecanizado, se cuenta con cuatro piezas: dos que formarán el alma de la pala, y dos que se utilizarán como “camas” en el proceso de laminación de la resina epoxi para dar la adecuada terminación superficial [4].

El proceso de laminado de la pala comienza sobre uno de sus laterales, donde se colocan las telas de fibra de vidrio tipo Roving 30 de 600grs/m² que refuerzan la superficie de la Resina Epoxi 1040 BV. Como desmoldante se utiliza lámina de Mylar Delta Glassy se apoya la parte de la pala trabajada sobre una de las “camas”. De esta forma, se trabaja del otro lado repitiendo el proceso de laminación con la resina epoxi y las telas de fibra de vidrio. Finalmente, se coloca la parte exterior del perfil con el suficiente peso arriba para permitir que la superficie laminada se asiente sobre la otra “cama” y se deja curar durante cuarenta y ocho horas la resina epoxi. Una vez pasado el tiempo de secado, se recortan todos los sobrantes de fibra de vidrio y se liján los bordes.

En los extremos de la pala se coloca una puntera fabricada con una planchuela de aluminio, que evita el ingreso de agua al larguero. Finalmente, las palas se pintan con esmalte poliuretano acrílico con bicomponente para obtener resistencia química, a los agentes atmosféricos, a la abrasión y el rayado. En la figura 2 se observan tres imágenes del proceso de fabricación de las palas.



Figura 2: Proceso de fabricación de palas.

En el proceso de fabricación del generador eléctrico se utilizaron piezas realizadas con una impresora 3D tipo FDM (*modelado por deposición fundida*) de la marca KiKai, modelo M11, a partir de material acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) en hilo de 1,75 mm de diámetro. Las piezas formaron parte de los moldes necesarios para recubrir con resina epoxi los imanes y las bobinas de cobre. Durante la reacción química de la resina con el catalizador se produjo el aumento de la temperatura, con lo cual, el material del molde tuvo que ser suficientemente resistente para evitar deformarse. En el caso de los moldes de ABS, no hubo inconvenientes, y cumplieron su función correctamente [5]. A partir de esta experiencia, se plantea la posibilidad de usar como alternativa al poliestireno expandido, una estructura fabricada en impresora 3D que sirva como alma de la pala, para ser laminada superficialmente con resina epoxi y mejorar su acabado final.

Para mejorar el desempeño de las palas y poder obtener más energía del viento se pretende mejorar dos aspectos. Por un lado, las primeras palas estuvieron limitadas en largo debido a la capacidad de corte producido por la máquina de hilo caliente, a futuro, se espera contar con una máquina de dimensiones mayores, o la unión de piezas más pequeñas, y de esta manera, poder fabricar palas de mayor altura y en consecuencia aumentar la energía captada del viento. Por otra parte, para disminuir las pulsaciones de torque generado por las

palas, se espera poder realizar las mismas con una determinada inclinación, además de poder probar la fabricación de perfiles con mejor desempeño aerodinámico.

3. RESULTADOS

Actualmente, se cuenta con seis palas fabricadas de forma artesanal de las cuales tres están montadas en el aerogenerador y las otras tres de repuesto. Se plantea a futuro la construcción de otro aerogenerador con mejoras en el sistema eléctrico para el cual se utilicen las palas de repuesto.

Las palas se encuentran instaladas en el aerogenerador desde noviembre de 2018, con lo cual se han sometido a las inclemencias meteorológicas, y esfuerzos mecánicos propios del funcionamiento. En la figura 3 se observa el aerogenerador instalado en la terraza del edificio de la Universidad a una altura de 12 metros aproximadamente, produciendo energía eléctrica para alimentar un banco de baterías. Por cuestiones de protección eléctrica, no se ha dejado funcionar el aerogenerador con vientos mayores a 10 m/s, con lo cual, no se verificó su tolerancia al funcionamiento en esa condición. Sin embargo, con el aerogenerador frenado, las palas soportaron ráfagas de viento de 16 m/s. Mediante un análisis visual, no se observan desgastes superficiales ni deterioros de la pintura, como la visualización de fisuras en la pintura.



Figura 3: Aerogenerador instalado en la terraza del edificio de la Universidad.

Actualmente se está desarrollando un sistema de adquisición de datos a distancia para hacer un relevamiento de toda la información necesaria para la caracterización del funcionamiento del aerogenerador. Hasta ahora, esa información se la ha obteniendo de forma manual con mediciones instantáneas. En la tabla 1 se detallan las especificaciones más importantes del funcionamiento del aerogenerador.

Tabla 1: Especificaciones del aerogenerador.

POTENCIA NOMINAL	250W
Velocidad de Arranque	2,5 m/s
Velocidad Nominal	5 m/s
Velocidad de Corte	10m/s
Altura Instalación	12 m
Sistema de Baterías	24Vdc
Velocidad de Rotación	50-300 RPM

4. CONCLUSIONES

La fabricación de las seis primeras palas del aerogenerador Giromill se ha podido realizar a partir de poliestireno expandido con un refuerzo superficial de resina epoxi y fibra de vidrio. Se ha utilizado una técnica artesanal con herramientas convencionales y no requirió de equipamiento especializado. De esta forma, se pudo poner en marcha el aerogenerador para poder ensayarlo mientras funciona abasteciendo un banco de baterías.

La elaboración de piezas en la impresora 3D permitió acelerar el proceso de construcción del prototipo de aerogenerador y reducir costos en la etapa de diseño.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, la Universidad Nacional de General Sarmiento y al Instituto de Industria.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] GOURIERES, D. L. (1983). *Energía Eólica. Teoría, concepción y cálculo práctico de las instalaciones*. Masson S.A. 1983
- [2] AGOTEGARAY, J., PINZÓN MONTES, A., PRADO IRATCHET, S. "Prototipo de aerogenerador de eje vertical Giromill". *CLADI 2017 – Congreso Latinoamericano de Ingeniería*. ISBN 978-987-1896-84-4. Paraná, Argentina. 2017.
- [3] BURTON, T. SHARPE, D. JENKINS, N. & BOSSANYI, E. *Wind Energy Handbook*. London: John Wiley and Sons, Ltd. 2001.
- [4] ESKENAZI A., MELA OSORIO J., ARTOLA J. *Generador eólico de eje vertical*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires. CABA, Argentina. 2015.
- [5] AGOTEGARAY, J., PINZÓN MONTES, A., PRADO IRATCHET, S. "Implementación de tecnología 3D para la fabricación de prototipos de aerogeneradores". *ASADES 2015 - XXXVIII Reunión de Trabajo*. San Rafael. Argentina. 2015.
- [6] BERI, H., YAO, Y. "Effect of camber airfoil on self starting of vertical axis wind turbine". *Journal of Environmental Science and Technology*. Volumen 4, Páginas 302-312. 2011.