



# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA DE BAJO COSTO EN ZONA RURAL DEL DEPARTAMENTO DEL META**

**Laura Tatiana Cucaita Perdomo, Christian Andrés Palomino Naranjo**

**Universidad Santo Tomas  
Villavicencio, Colombia**

## **Resumen**

Cada día es más evidente el impacto medioambiental de la contaminación global, uno de los aspectos principales que causa este tipo de problemáticas es la generación de energía mediante métodos poco amigables con el ambiente. Por ende, actualmente es muy importante empezar a emplear diferentes alternativas sostenibles para producir energía en la sociedad; especialmente en comunidades donde aún es inestable o inexistente la energía eléctrica, se desarrollará un prototipo de generador eólico accesible, funcional y de bajo costo para la implementación en el departamento del Meta. Para diseñar y desarrollar un artefacto eólico de este tipo es necesario tener en cuenta diferentes aspectos como el costo de fabricación de la turbina, el costo de la energía eléctrica, la energía generada, las corrientes y flujo de aire y las necesidades específicas de la región; el primer factor es influenciado además por 3 componentes principales: la generación, transmisión y distribución, lo que da resultado al costo unitario por el servicio que corresponde a un promedio de \$303,88 pesos (EMSA, 2021), en el caso de la turbina eólica sólo se considerará la generación de energía ya que cada dispositivo tendrá la capacidad de proveer un solo hogar. El siguiente elemento hace referencia a los factores que transforman la energía, es decir, la velocidad del viento, la dirección y la intensidad de la turbulencia con el fin de determinar un perfil aerodinámico adecuado. Como parte del proceso de diseño se debe establecer las características sociodemográficas del departamento que en su mayoría se relacionan con la deficiencia en los servicios de energía eléctrica a lo largo de todo el departamento y la ausencia de éste en la parte rural que "registra bajas coberturas de electrificación especialmente en los municipios afectados por el conflicto, siendo los de mayor deficiencia Vista Hermosa y Uribe, con solo 30 por ciento de cobertura, seguidos de Cabuyaro y Puerto Lleras, con 47 por ciento de cobertura." (Pers, 2019). Asimismo, la construcción del prototipo aerogenerador se elaborará a partir de materiales de bajo

costo, que pueda producir alrededor de 3.0kWh/ día para alimentar un hogar que tenga las necesidades básicas y alrededor de 5.2kWh/ día en un hogar con electrodomésticos que se consideran lujosos hoy día y así tener la capacidad de brindar energía sustentable a las familias que no tienen acceso directo a la red nacional de energía eléctrica.

**Palabras clave:** aerodinámica; generación eléctrica; Meta; prototipo; sostenible; turbina eólica

### **Abstract**

*Every day the environmental impact of global pollution is more evident, one of the main aspects that causes this type of problems is the generation of energy through environmentally unfriendly methods. Therefore, it is very important to start using different sustainable alternatives to produce energy in society; especially in communities where electric energy is still unstable or non-existent, a prototype of an accessible, functional and low-cost wind generator will be developed for implementation in the department of Meta. To design and develop a wind artifact of this type it is necessary to take into account different aspects such as the cost of manufacturing the turbine, the cost of electricity, the energy generated, the currents and air flow and the specific needs of the region; the first factor is also influenced by 3 main components: generation, transmission and distribution, which results in the unit cost for the service corresponding to an average of \$303.88 pesos (EMSA,2021), in the case of the wind turbine only the generation of energy will be considered since each device will have the capacity to supply a single household. The next element refers to the factors that transform energy, i.e. wind speed, direction and intensity of turbulence in order to determine an adequate aerodynamic profile. As part of the design process, the sociodemographic characteristics of the department must be established, which are mostly related to the deficiency in electric power services throughout the department and the absence of this in the rural part that "registers low electrification coverage especially in the municipalities affected by the conflict, with the highest deficiency being Vista Hermosa and Uribe, with only 30 percent coverage, followed by Cabuyaro and Puerto Lleras, with 47 percent coverage."(Pers,2019). Also, the construction of the prototype wind turbine will be made from low-cost materials, which can produce about 3.0kWh/day to power a home that has basic needs and about 5.2kWh/day in a home with appliances that are considered luxurious today and thus have the ability to provide sustainable energy to families who do not have direct access to the national power grid.*

**Keywords:** aerodynamics; electricity generation; Meta; prototype; sustainable; wind turbine

## **1. Introducción**

El estilo de vida del ser humano se ve afectado por varios recursos indispensables para su supervivencia en la época actual, uno de ellos es la energía eléctrica. Para el desarrollo de diversas actividades es necesarios la implementación de energía eléctrica ya que permite el funcionamiento de diferentes artículos y maquinas que facilitan un gran número de labores esenciales diarias; además provee la luz eléctrica que ayuda a visualizar el panorama de varios entornos, es decir, proporciona una claridad a las personas para seguir realizando sus tareas. Sin embargo, en



distintos lugares del mundo se considera la energía eléctrica como un privilegio lo cual demuestra la gran brecha de desigualdad de la sociedad y los pocos bienes con los que cuentan la mayoría de la población en múltiples regiones del mundo debido a la escasez y pobreza. Por otro lado, quienes sí disponen de este recurso utilizan energía eléctrica generada a partir de medios tradicionales como plantas térmicas que impactan negativamente en la huella de carbono asimismo contribuye al aumento de la contaminación ambiental; problemática global que paulatinamente cambiará radicalmente las condiciones de vida de los habitantes del planeta tierra.

De manera que es el momento de reemplazar e implementar generadores de energía sostenibles tales como paneles solares, plantas hidroeléctricas, aerogeneradores, entre otros; este último tipo de generador aprovecha el movimiento de masas de aire, utilizando como fuente de generación de energía el viento y ningún otro recurso. La energía eólica es una energía limpia que no sobreexplota ningún recurso natural ni produce desechos o residuos nocivos, pero a lo largo de los años la construcción y diseño de las turbinas eólicas ha sido un poco costosa a causa de los materiales, tamaño, forma estructural, entre otros aspectos. En consecuencia, aunque la instalación y aplicación de aerogeneradores aporta grandes beneficios usualmente no se implementan a menudo en sectores urbanos ni rurales. Por esta razón este proyecto se enfoca en la elaboración del diseño de un aerogenerador eficiente con materiales de bajo costo; con el fin de que sea una turbina eólica accesible para la mayoría de consumidores, especialmente para aquellos que no tienen electricidad en sus viviendas o lugares de trabajo.

## 2. Materiales y método

Para la selección de los materiales y el método de simulación y construcción primero se desarrolla la parte conceptual para así identificar términos importantes.

**Resina epoxica:** Este es un material el cual se deriva del petróleo y por sus características debe ser reforzado con otros materiales para que de esta manera se puedan mejorar algunas de sus propiedades. La resina por sí sola reacciona con solventes y tienen la posibilidad de reaccionar con endurecedores generando estructuras muy resistentes al fuego, con una elevada resistencia mecánica, química y térmica haciendo así que sus aplicaciones estén en la industria aeronáutica, aeroespacial y eléctrica.

**Generadores eólicos:** También conocidos como aerogeneradores son elementos que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica a través de un eje y finalmente en energía eléctrica con un generador que puede ser de corriente alterna o continua.

La construcción de la turbina eólica se basa principalmente en el desarrollo del diseño geométrico aerodinámico y la determinación de los materiales a implementar por esto es importante estudiar los diferentes aspectos que componen la elaboración de un generador con la mayor eficiencia posible. Para la creación del generador eólico inicialmente se analiza el funcionamiento del mecanismo interno y externo del prototipo, para asimismo establecer el conjunto de factores que se tendrán en cuenta en el croquis de la estructura del aerogenerador.



El diseño que se propone puntualmente se construirá con el propósito de lograr brindar a los consumidores una óptima producción de energía eléctrica que supla sus necesidades básicas en un entorno de bajo flujo de aire, es decir, que no es necesario para la operatividad de las turbinas fuertes corrientes de viento. Uno de los elementos clave del aerogenerador es el álabe ya que estas son las que “reciben la energía del viento, la capturan y realizan la conversión de rotación en el buje de la turbina. (...) provoca una fuerza de empuje que hace que el rotor rote convirtiendo así la energía cinética del viento a energía eléctrica.”; en el caso de los álabes superiores e inferiores de este estudio tienen una forma semicircular que presenta bordes redondeados los cuales disminuyen la turbulencia generada por el viento e incrementa la rotación a bajas velocidades.

Esto quiere decir, que la sustentación producida genera un mayor número de revoluciones por minuto que a su vez al ser transmitidas al generador podrían producir más energía. A esto también se atribuyen las turbulencias generadas por los alrededores ya que se atrapa mayor cantidad de aire que produce más empuje en los álabes. Los dos álabes correspondientes se unen a un eje a través de un sistema de cuñas que poseen ranuras, las cuales permiten el flujo de aire generando una descarga del exceso de presión causado por el viento y brindando un empuje adicional al álabe opuesto aumentando la velocidad de rotación.

El aerogenerador de eje vertical que se diseñará es un híbrido entre una turbina tipo Darrieus y Savonius; debido a que los dos modelos presentan características opuestas, al combinarlas se complementan perfectamente. Una de las grandes diferencias entre cada turbina se centra en su eficiencia y las velocidades de los vientos origen que necesitan los generadores para su funcionamiento, por ejemplo, en el caso del aerogenerador Savonius funciona con “vientos de poca intensidad y en rango limitado, (...) tiene poca eficiencia (...) y es válido para aplicaciones de poca potencia” de manera contraria el aerogenerador Darrieus se adapta “a los cambios de dirección del viento aunque necesita de una estructura robusta para resistir vientos extremos” (Orozco, 2014) y un movimiento mecánico inicial para comenzar su operatividad (no es de arranque automático) pero que a diferencia del Savonius presenta mayor eficiencia.

Por otra parte, el diseño propuesto al seguir las cualidades de los aerogeneradores y los criterios generales de su funcionamiento procurará que el prototipo se detenga por sí solo cuando llegue a su velocidad límite ya que en el área donde se implementará, usualmente los vientos son de bajas intensidades, pero en ocasiones puede aparecer algunos flujos de viento fuertes. El diseño que se realizará, tendrá en cuenta las formas básicas de los rotores anteriormente mencionados, donde la estructura final se plantea que en el punto superior del eje se ubique aerogenerador Darrieus y en el punto inferior el Savonius con el propósito de que cada una cumpla una función específica; y logren incrementar de la potencia de la turbina en conjunto.

No obstante para alcanzar un buen desarrollo del aerogenerador es elemental hacer un grupo de cálculos y hallar diversos valores matemáticos para medir el rendimiento de la turbina; la información principal para la obtención de un amplio análisis sobre el funcionamiento del generador se extrae a partir del estudio de factores como: la presión estática, la velocidad relativa del flujo del aire que a su vez se conforma de la velocidad de arranque, acoplamiento, nominal, de desconexión, las líneas de corriente de viento, temperaturas ambiente y otras condiciones medio ambientales del entorno. Otros aspectos relevantes son aquellos que se relacionan con el proceso



de generación de energía como el cálculo del coeficiente de arrastre, coeficiente de sustentación, coeficiente de potencia, coeficiente de torque, la eficiencia en relación a la potencia, entre otros.

### 3. Modelamiento asistido por computador

Posterior a la planeación del diseño de la turbina eólica, es pertinente comprobar su buen funcionamiento en las condiciones ambientales del departamento del Meta para evaluar el desempeño y efectividad las condiciones de la zona de prueba. Con el objetivo de obtener resultados tangibles; se pretende realizar un conjunto de análisis relacionados con el modelo de aerogenerador propuesto, dentro de las cuales se encuentran diferentes tipos de experimentos computacionales a través de un software. Para esto se usará SolidWorks con el cual se desarrolla el diseño tridimensional tal como se observa en la figura 1 y figura 2; en este mismo sistema está disponible la licencia para hacer cálculos de fluidos con el componente CFD y se apoyará con ANSYS con su módulo FLUENT donde se podrán mejorar las condiciones de frontera y las variables de viento en la región donde se instalará el prototipo.

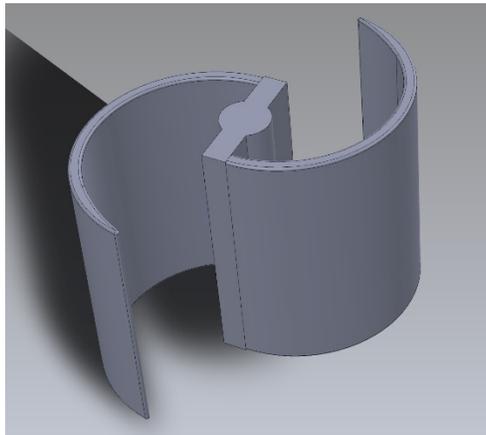


Figura 1. Diseño turbina Savonius parte inferior. Fuente propia

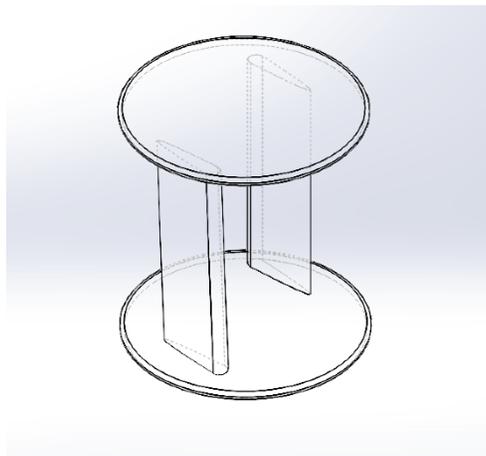


Figura 2. Diseño turbina Darrieus parte superior. Fuente propia



Igualmente se llevará a cabo una simulación práctica en el equipo canal de flujo FC 300-Tecquipment (...) que permite realizar la medición del caudal y el flujo del volumen, el experimento consiste en ubicar la turbina construida en la parte inferior de la máquina y se enfrentará a diversos flujos máxicos de agua que permitirán ahondar en el diseño teniendo en cuenta su resistencia mecánica para soportar las cargas a las cuales se verá sometido el producto final. Al examinar la ejecución del prototipo y la dinámica del fluido se tendrá en cuenta el área de los álabes para determinar la velocidad con las que se puede mover óptimamente el generador.

#### 4. Referencias

- EMSA. (2021). Tarifas de energía del Meta. <https://www.electrificadoradelmeta.com.co/newweb/tarifas-energia-2-2/>
- Giguere, P., & Selig, M. S. (1997). Low Reynolds number airfoils for small horizontal axis wind turbines. *Wind Engineering*, 367-380
- Universidad de los Llanos, Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), Unidad de Planeación Minero Energetica (UPME), «PERS Orinoquia,» .(2019).[http://observatorio.unillanos.edu.co/pers/#s5\\_scrollfotop](http://observatorio.unillanos.edu.co/pers/#s5_scrollfotop).
- P. Mendes, N. Fantuzzi, A. Aidibi, and L. Manuel. (2021). Horizontal and vertical axis wind turbines on existing jacket platforms : Part 1 – A comparative study, *Structures*, vol. 32, no. March, pp. 1069–1080. doi: 10.1016/j.istruc.2021.01.069.
- Al-Bahadly. (2009). Building a wind turbine for rural home. *Energy Sustain. Dev.*, vol. 13, no. 3, pp. 159–165. doi: 10.1016/j.esd.2009.06.005.
- K. Y. Lee, S. H. Tsao, C. W. Tzeng, and H. J. Lin. (2018). Influence of the vertical wind and wind direction on the power output of a small vertical-axis wind turbine installed on the rooftop of a building *Appl. Energy*, vol. 209, no. September 2017, pp. 383–391. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.185
- G. Richmond-Navarro. (2015) Horizontal axis Magnus wind turbine performance according to their geometric and kinematic variables. *Tecnol. en Marcha*, vol. 29, pp. 38–50. <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n1/0379-3982-tem-29-01-00038.pdf>.
- Saavedra Chimal, A., & Alejos Palomares, R. (2019). Diseño de la geometría de un aerogenerador de eje vertical tipo Savonius. MEMORIAS DEL XXV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM. [http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A1\\_101.pdf](http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A1_101.pdf)
- López Vaca, O. R., Ramírez Pastran, J. A., & Chacón Gil, K. L. (2019). Metodología para la predicción del coeficiente de potencia de una turbina hidrocínética tipo Savonius utilizando dinámica de fluidos computacional. [https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15655/2019\\_KarenChacón.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15655/2019_KarenChacón.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Defaz Vizcaino, A. L., & Pallasco Yugsi, M. A. (2017). ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO DE EJE VERTICAL TIPO SAVONIUS PARA VELOCIDADES ENTRE 5 Km/h Y 20 Km/h. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13627/3/UPS-KT00523.pdf>
- Ariza Espinoza, J. A., García Castrejón, J. C., & Urquiza Beltrán, G. (2014). EFECTO DE LA TORSIÓN DE LOS ÁLABES EN LA POTENCIA DE UNA TURBINA EÓLICA VERTICAL CON ROTOR TIPO SAVONIUS. XIV CONGRESO Y EXPOSICIÓN LATINOAMERICANA DE TURBOMAQUINARIA . [http://b-dig.iie.org.mx/BibDig2/P14-0287/XIV\\_CELT\\_38.pdf](http://b-dig.iie.org.mx/BibDig2/P14-0287/XIV_CELT_38.pdf)



- Pabón Rojas, C. L., Florez S, E., & Serrano Rico, J. C. (2019). Diseño del álabe de un aerogenerador horizontal de baja potencia. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 219–229. [http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/BISTUA/article/viewFile/3157/1691](http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/viewFile/3157/1691)
- Cifuentes, J. I., & Álvarez, N. G. (2020). Mejora en las Propiedades Mecánicas de Álabes de Aerogeneradores con Resina Epóxica y Nanocelulosa. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14486.37445>
- Sausedo Solorio, J. M. (2014). Comparación de herramientas de diseño para álabes de aerogeneradores eólicos de baja velocidad de viento. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1929/AT18379.pdf?sequence=1>
- Storti, B. A., Peralta, I., Dorella, J. J., Román, N. D., Albanesi, A. E., & Garelli, L. (2017). DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN MEDIANTE CFD Y REDES NEURONALES DE DEFLECTORES PARA UNA TURBINA SAVONIUS. *Mecánica Computacional*, XXXV, 1697–1711. <http://www.cimec.org.ar//www.amcaonline.org.ar>
- Saavedra Chimal, A. (2019). Optimización de la geométrica de aerogenerador de eje vertical tipo Savonius. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmt/saavedra\\_chimal\\_a/etd\\_4021041920581.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/saavedra_chimal_a/etd_4021041920581.pdf)

### Sobre los autores

- **Laura Tatiana Cucaita Perdomo**. Estudiante de Ingeniería Industrial, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio. [lauracucaita@usantotomas.edu.co](mailto:lauracucaita@usantotomas.edu.co)
- **Christian Andrés Palomino Naranjo**. Ingeniero Mecánico, Universidad Santo Tomás sede Villavicencio. [christianpalomino@usantotomas.edu.co](mailto:christianpalomino@usantotomas.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

