

Diseño y Construcción de un Prototipo para Aerogeneración de 1kW

Para citar este artículo /
To reference this article /
Para citar este artigo.
Chaparro, S. Aldemar R.,
& Carreño, B. Carlos G.,
& González, C. Mónica
B (2014). Diseño y
Construcción de un Prototipo
para Aerogeneración de
1kw. Ingenio Magno. Vol
5, pp. 52-60

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 1KW WIND TURBINE PROTOTYPE

Aldemar Suárez, Ing.
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Carlos Carreño Bodensiek, PhD.
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Mónica González, M.Sc.
Universidad del Tolima
e_mail: carlos.carreno@uptc.edu.co.

Recepción: 2014 - 06 - 24 \ Aceptación: 2014 - 12 - 23

RESUMEN

Este documento presenta el resultado cualitativo de un proyecto de investigación formulado por el Grupo en Energía y Nuevas Tecnologías de la UPTC GENTE, que se fundamenta en la apropiación tecnológica para la fabricación de sistemas de aerogeneración. El objetivo es diseñar y construir un prototipo pionero en Boyacá capaz de captar energía eólica y convertirla en energía eléctrica almacenable para el posterior consumo doméstico, principalmente, en zonas alejadas, donde no exista el acceso a la interconexión eléctrica y donde se tengan condiciones propicias de viento. Este trabajo presenta el diseño y la construcción de un sistema tripala de eje horizontal de una potencia nominal de 1kW, con una salida de 24VDC y otra de 120VAC con características similares a las que ofrece el sistema eléctrico colombiano. Todo el sistema mecánico y eléctrico es el resultado de un diseño totalmente propio y una elaboración del 90% de los componentes.

Palabras Claves: Aerogeneración, Energías Alternativas, Energía Eólica, Prototipo.

ABSTRACT

This paper presents the results of a qualitative research project developed by the research team "GENTE" (Group for Energy and New Technologies) of the UPTC University. The project is based on technological appropriation in the manufacture of wind generation systems. The objective is to design and build an innovative prototype in the Boyaca region, which would be able to capture wind energy and convert it into storable electricity for further domestic consumption. The prototype could work in remote areas where electricity interconnection is not accessible and there are appropriate wind conditions. The design and construction is based on a three-bladed horizontal axis system, with a nominal power of 1kW, 24VDC output and 120VAC tension. The prototype has the same electric characteristics as those offered by the Colombian power system. The electrical and mechanical systems are the group's totally own design, who are also responsible for the manufacturing of 90% of the components.

Keywords: Alternative Energy, Prototype, Wind energy, Wind power.

1. INTRODUCCIÓN

La energía eólica es una fuente renovable de electricidad producida en forma limpia y ecológica, en contraste con los sistemas convencionales de generación eléctrica [1], como recurso renovable y limpio, es una alternativa simple de generación de electricidad en todos los niveles de consumo de potencia eléctrica (alta, media y baja tensión) [2]. Este documento describe la construcción de un aerogenerador pequeño, explica de manera breve el funcionamiento general de esta máquina y se mencionan los estudios previos necesarios para establecer su emplazamiento.

Gran parte de la eficiencia en un aerogenerador depende del diseño y construcción de su rotor; en este documento se presta especial atención al diseño de las aspas y su mecanismo de acople (bujes) al sistema general.

A partir de los resultados de este trabajo se espera generar una base sólida para la manufactura regional a gran escala de aerogeneradores de baja potencia y la aplicación de sistemas eléctricos de potencia con base en energía eólica en zonas que presenten las condiciones ambientales adecuadas para su funcionamiento. El trabajo de investigación incluye el diseño, la fabricación y consecución de todas las herramientas y equipos auxiliares necesarios para la producción de aerogeneradores de baja potencia. En su conjunto, el objetivo a mediano plazo es la apropiación y aplicación del estado del arte en el área de tecnologías alternativas de generación eléctrica para implementar un sistema completo de desarrollo de aerogeneradores a nivel regional, con tecnología e innovación propia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para el desarrollo de este trabajo se basa en la realización gradual de actividades que se relacionan entre sí y tienen un orden preestablecido, las cuales reflejan el proceso investigativo y la obtención de resultados, de tal manera que se pueda evaluar el desarrollo del proyecto en cualquier momento para de esta forma cumplir a cabalidad con el diseño y construcción del prototipo aerogenerador.

Las actividades desarrolladas en este proyecto fueron: La construcción de la rosa de los vientos del lugar de emplazamiento (la finca Soriano, vereda San José municipio de Aquitania, Boyacá). El diseño de ingeniería de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos requeridos. El diseño y simulación de las condiciones de funcionamiento cada uno de los componentes en software CAE. La elaboración de los planos con especificaciones técnicas para manufactura y la construcción total del prototipo listo para desarrollo de pruebas de funcionamiento y el análisis en condiciones de falla.

Para el diseño de un aerogenerador específico se requieren las condiciones de viento del lugar donde se va a emplazar [3]. La documentación y estudios que se encuentran no presentan las condiciones ambientales en el lugar específico de emplazamiento en Boyacá. En el atlas del viento y la energía eólica de la UPME [4] se encuentran las velocidades del viento para Aquitania con valores de hasta 3 m/s. Las mediciones de la velocidad del viento obtenidas para este trabajo en el lugar de emplazamiento ascienden a 15 m/s, como máximo y en promedio presentan valores de 10 m/s.

De acuerdo con la potencia de diseño requerida, los datos técnicos de entrada para el prototipo aerogenerador son los siguientes [5]:

Potencia nominal:	1000 W
Diámetro del rotor:	3,81 m
Altura del buje:	6 ,32 m
Velocidad del viento:	10 m/s
Rotor:	Rotor tripala a barlovento
Velocidad:	224 rpm variable
Aspas:	Fibra de vidrio reforzada resina epoxi y poliuretano
Área de barrido:	12,57 m ²
Generador:	Síncrono con sistema de rectificación incluido
Multiplicador:	Relación de transmisión: 1:14
Freno:	Mecánico con control electrónico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cálculos, las premisas y datos del análisis y diseño, así como los métodos de manufactura utilizados para cada una de las piezas son descritos detalladamente en el informe final del Proyecto de Investigación UPTC – Código SGI 1018 “Diseño y Construcción de un prototipo de aerogeneración para la finca San José en la vereda Soriano del municipio de Aquitania, Boyacá”. A continuación se enuncian los resultados obtenidos:

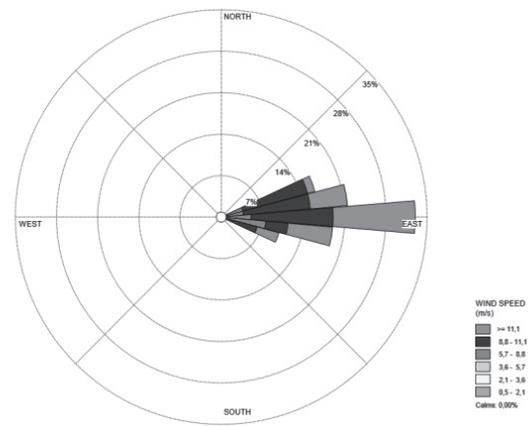


FIGURA 1. Rosa de los vientos – Vereda Soriano, Aquitania, Boyacá. Fuente: Los autores.

En la Figura 1 se presenta la rosa de los vientos para el lugar de emplazamiento y en la Figura 2 se ve el promedio de velocidades construido con los datos recolectados desde el 1 de mayo del 2011 hasta el 28 de septiembre de 2012. La recolección de datos se realizó con un sistema de veleta y anemómetro de cazoletas a 10 m de altura con sistema de registro de datos configurado para tomar un registro cada 5 minutos.



FIGURA 2. Velocidades promedio del viento. Fuente: Los autores.

Los datos obtenidos de las mediciones arrojan una velocidad promedio del viento de aproximadamente 10 m/s. Con esta información y con el fin de generar 1000 W de potencia, se elige usar un aerogenerador de eje horizontal de 3 aspas, rotor a barlovento debido a sus ventajas en estabilidad mecánica y sin necesidad de requerir un sistema de arranque [6].

El trabajo de fabricación se divide en cinco etapas de los procesos que se necesitan al elaborar cada componente:

- Construcción de aspas.
- Construcción de columna.
- Construcción de góndola y componentes internos.
- Circuitos de control eléctrico y electrónico.
- Instalación y puesta en funcionamiento.

3.1 Diseño Geométrico y Mecánico

Se seleccionó el perfil NACA 4412 para el diseño de aspa, que se construye usando una caja de galgas con los perfiles necesarios para construir un modelo de madera mostrado en la Figura 3.



FIGURA 3. Modelo en madera del aspa tipo NACA 4412. Fuente: Los autores.

Con el modelo terminado se procede a construir las aspas definitivas del rotor. En este caso los materiales utilizados son fibra de vidrio, resina epóxica, poliuretano y lámina de acero A36. En la Figura 4 se ven algunos de los pasos de la manufactura y el aspa terminada.

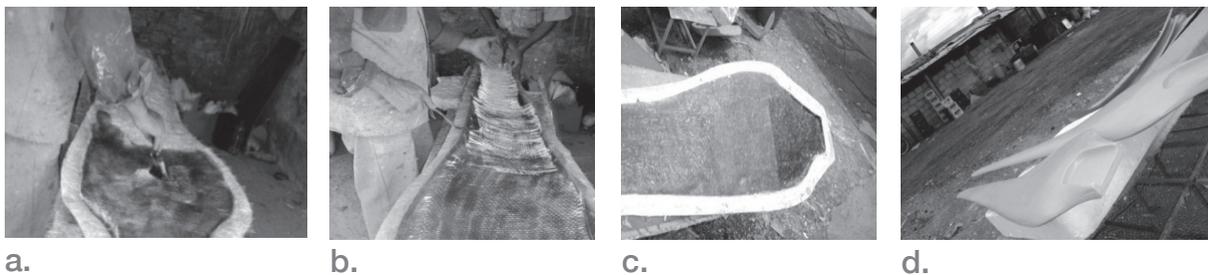


FIGURA 4 a). Aplicación de la primera capa de fibra y resina. b). Aplicación de refuerzo en fibra de vidrio. c). Refuerzo en lámina. d). Unión de las dos partes de la pieza. Fuente: Los autores.

La eficiencia total del aerogenerador se calcula a partir de los datos de rendimiento de los componentes internos principales del prototipo aerogenerador (Tabla 1) [7].

TABLA 1. Rendimientos típicos.

DENOMINACIÓN	RENDIMIENTO
Rotor eólico	30-80
Transmisión	50-80
Generador eléctrico	50-98

Fuente: Introducción a la teoría de las turbinas eólicas. Manuel Franquesa

Tomando la eficiencia del rotor eléctrico del 80% ($\eta_R = 0,8$), eficiencia de la transmisión del 80% ($\eta_E = 0,8$) y eficiencia del generador eléctrico del 98% ($\eta_G = 0,98$) se obtiene la eficiencia total (η) que es el producto de las eficiencias anteriores como se ve a continuación: (1)

$$\eta = \eta_R \eta_E \eta_G = 0.62 \quad (1)$$

A partir de esta eficiencia se puede estimar el área de la sección del barrido del rotor que captura la potencia eólica. Lo anterior mediante la fórmula de Betz [8] para el cálculo de potencia extraída del viento. (2)

$$P = 0.37\eta A v^3 \quad (2)$$

Donde P , es la potencia del aerogenerador, η es la eficiencia total del sistema rotor, generador y transmisión, A es la superficie de barrido de las aspas y v es la velocidad del viento.

El valor de la potencia es de 1,5 kW y de la velocidad del viento es de 10 m/s de allí, despejando el área se obtiene 6.46 m² y por consiguiente, un radio de aspa de 1.45 m

La columna se diseña de 6 metros de altura debido a que las condiciones locales del viento muestran que el flujo de aire es laminar a baja altura. Se realiza un diseño previo mediante software CAD y posteriormente se fabrica de lámina de acero A36 HR, doblada y soldada como muestra la Figura 5.

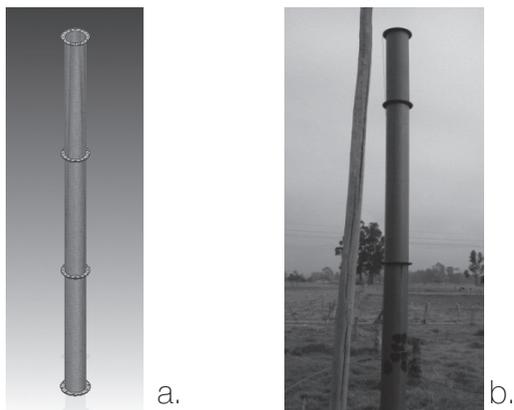


FIGURA 5. a). Diseño de la columna. b). Columna armada y emplazada. Fuente: Los autores.

En la góndola se encuentran los sistemas de transmisión y generación. Los ejes fueron diseñados de acuerdo a la potencia transmitida y a la velocidad de giro calculada (224 rpm). El generador se selecciona de acuerdo a la potencia que se requiere suministrar (1 kW). De acuerdo a esta disposición se simulan los respectivos esfuerzos en el software Solid Edge ST3. En la Figura 6 se muestra el modelamiento en 3D de la góndola y sus elementos.

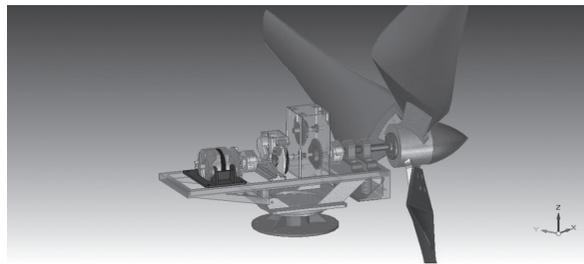


FIGURA 6. Diseño 3D de la góndola. Fuente: Los autores.

A partir de los resultados de la simulación y de los cálculos matemáticos se seleccionan los materiales para cada elemento de la góndola, para su fabricación. Los materiales usados son: Acero estructural A36 HR (góndola), Acero 1045 (bastidor), Acero 4140 (eje y piñones) entre otros. En la Figura 7 se presenta la construcción final.

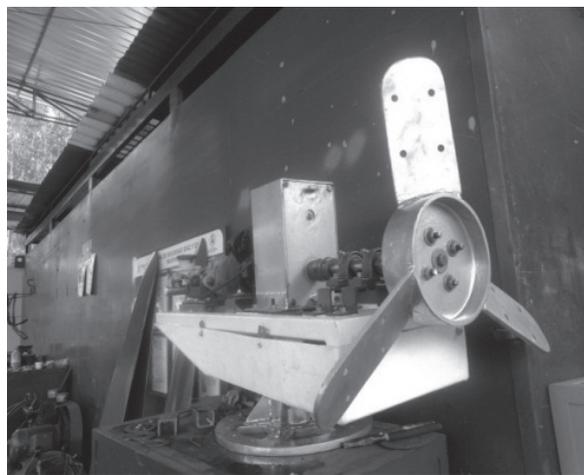


FIGURA 7. Góndola manufacturada y ensamblada. Fuente: Los autores.

3.2 Diseño y Construcción de Circuitos Eléctricos y Electrónicos

Partiendo de la demanda energética calculada y buscando obtener la máxima potencia del viento se elige el alternador DELCO REMY 22SI para la generación eléctrica [9], dicho alternador regula el voltaje para un sistema de 24V y puede entregar hasta un máximo de 70 amperios cuando gira a más de 5000 rpm. Las características del alternador elegido son:

- Salida de 24V y máximo 70A.
- Velocidad máxima de 10.000RPM.
- Giro en sentido de las manecillas del reloj preferiblemente.
- Rango de temperatura de -34 a 93°C.
- Peso de 6,46 kg.

El sistema funciona a 24V por lo cual el sistema cuenta con 2 baterías VARTA 30H de 12V ya que pueden suministrar 10 amperios (cerca de 250W) durante 20 horas. El tiempo de autonomía del sistema cuando no hay viento se presenta la tabla 2 con los consumos de electrodomésticos comunes.

TABLA 2: Consumo y autonomía del sistema. Fuente: Autores.

ELECTRODOMÉSTICO	POTENCIA(W)	AUTONOMÍA(h)
4 Bombillos	25 c/u	100
Televisor	100	100
Equipo de sonido	120	83,3
Computador escritorio	120	83,3
Computador portátil	65	153,8

Para clasificar las funciones de control y un análisis práctico de potencia generada se crean tres tarjetas electrónicas; control de frenado de rotor, medición de potencia y etapa de inversión de voltaje.

La velocidad del viento no es constante y en casos como tormentas puede producirse daños al sistema, por lo anterior se hace necesario controlar la velocidad a la cual gira el eje solidario al alternador eléctrico para evitar posibles fallas tanto en las piezas eléctricas como en las mecánicas.

Para el sistema de freno se usa un sensor de velocidad que con transductor de 0 a 5V dependiendo de las rpm del eje, dicho valor es procesado en un microcontrolador el cual está programado para activar el freno controlado por servomotor lo que hará que el eje disminuya su velocidad angular. La construcción de la tarjeta real de dicho regulador se puede apreciar en la Figura 8.

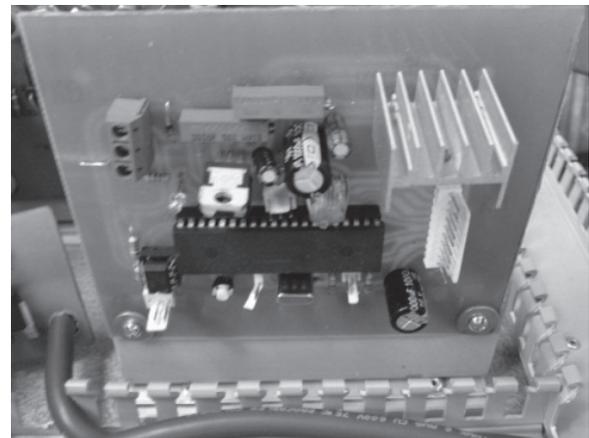


FIGURA 8. Tarjeta de regulación de velocidad. Fuente: Los autores.

Una pantalla LCD permite observar en tiempo real la velocidad angular del eje del alternador, el porcentaje de frenado, así como el estado del contactor (abierto o cerrado) e indicar si se está en situación de parada de emergencia o no.

Al comparar la potencia de salida real con la potencia del viento máxima captable se obtiene la eficiencia global del sistema. Se implementó una segunda tarjeta electrónica de medición de potencia y eficiencia compuesta por sensores de voltaje, corriente, de velocidad del viento, un microcontrolador y una pantalla LCD para la interfaz gráfica.

Las lecturas de los sensores son procesadas por el microcontrolador y los datos de salida son mostrados en la pantalla LCD, dichos datos son la velocidad del viento, la potencia máxima captable, la potencia real producida así como la eficiencia global del sistema. En la figura 9 se aprecia la construcción de esta tarjeta.

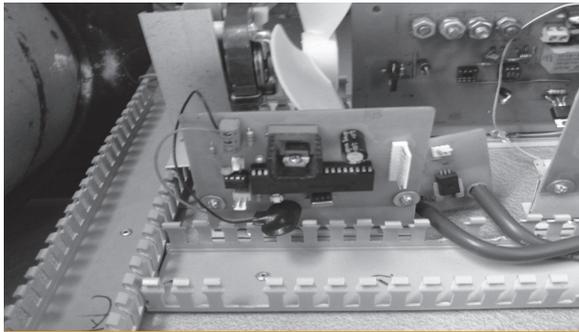


FIGURA 9. Tarjeta de medición de potencia. Fuente: Los autores.

La tarjeta inversora es un convertor DC/AC al cual entra corriente directa 24VDC y sale corriente alterna a 24VAC, las cuales son amplificadas a 120VAC para el consumo residencial. El diseño y la tarjeta final se aprecian en la Figura 10.

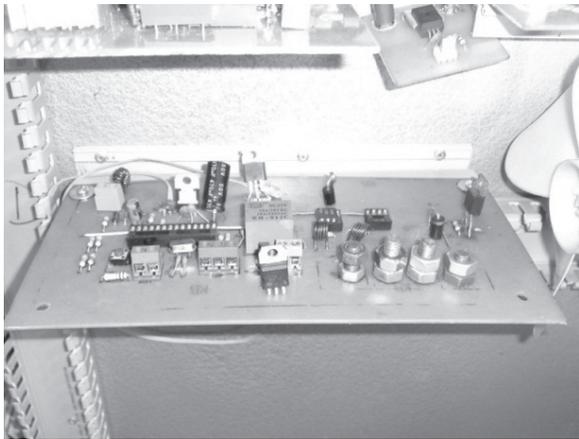


FIGURA 10. Inversor de voltaje. Fuente: Los autores.

El transformador es diseñado para 2KVA, 24-120VAC, consta de 28 espiras en el devanado primario y 140 espiras en el secundario junto con 4 taps para la correcta regulación del voltaje, el producto final construido se muestra en la Figura 11.

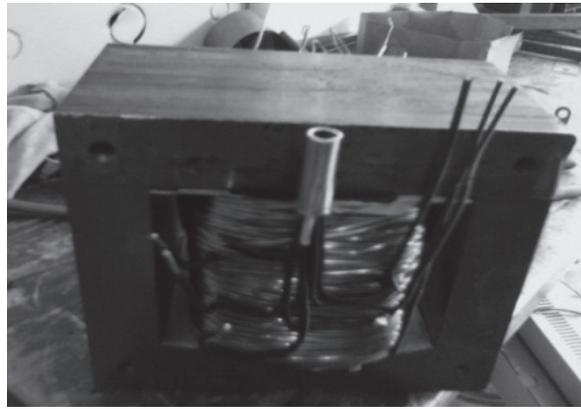


FIGURA 11. Construcción del transformador. Fuente: Los autores.

Las características de diseño del transformador son mostrados en la tabla 3.

TABLA 3: Principales características del transformador. Fuente: Autores.

CARACTERÍSTICA	PRIMARIO	SECUNDARIO
Vrms	24	120
Espiras	28	140
Irms	83,33	16,67
Calibre AWG	3X12 AWG	1X12 AWG
POTENCIA(W)	2000	
ÁREA(cm ²)	80	
K NÚCLEO	1,4	

3.3 Ensamble y Puesta en Marcha

El primer paso es hacer la cimentación de la columna de izaje y la instalación del sistema de puesta a tierra y cajas de inspección para lo cual se realiza una excavación con las dimensiones según el diseño. La excavación debe ir acompañada de una formaleta para asegurar la correcta ubicación de los pernos que soportan la columna. El material de la cimentación es concreto acelerado con una resistencia mínima de 5000 kg/cm².

El ensamble del aerogenerador debe estar acompañado de un equipo de izamiento, ya sea un pórtico soporte o un camión grúa. El montaje de la góndola se realiza con un sistema de izaje con diferencial y posta de izaje que garantice la

no deformación o los posibles golpes de las piezas con la columna. Se monta primero la góndola sin buje y carcaza, piezas que se instalarán cuando el bastidor principal de la góndola este fijo.

El circuito que controla y regula la energía eléctrica del sistema aerogenerador debe ensamblarse con la normatividad existente garantizando características como resistencia a la intemperie, impactos y abuso en el sistema de conexiones. Las unidades de visualización y botoneras deben ir instaladas en un panel protegido de la lluvia. Las tarjetas impresas deben ensamblarse sobre una superficie aislante para garantizar que no se presenten cortocircuitos dentro de sus rutas de conexión. El tablero de control y sus componentes internos se observan en la figura 12. Para el diseño se tiene en cuenta el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) [10] y la norma NTC 4552-1 para protección contra descargas eléctricas.

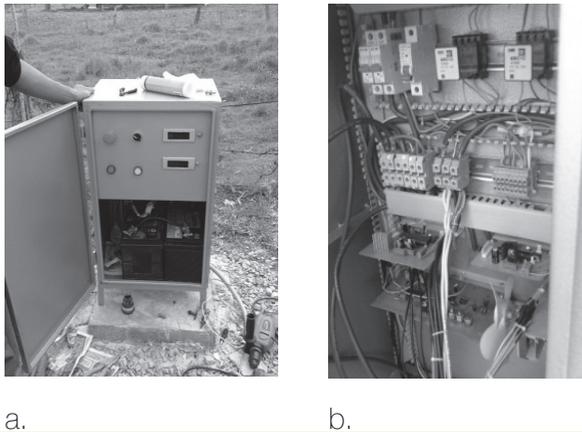


FIGURA 12. a) Tablero de control b) Componentes internos del tablero de control.
Fuente: Los autores.

Se debe realizar previo análisis de los circuitos, verificación de conexiones dentro de la caja de control, cerciorarse del montaje del cableado, instalar el captador y el sistema de puesta a tierra. Finalmente se obtiene un aerogenerador capaz de proporcionar 1kW en condiciones nominales de funcionamiento como el mostrado en la figura 13.



FIGURA 13. Aerogenerador terminado. *Fuente: Los autores.*

4. CONCLUSIONES

Se obtuvo la rosa de los vientos y se evaluaron las condiciones meteorológicas para el lugar de emplazamiento del prototipo aerogenerador, esta información suministró los datos de entrada para el diseño preliminar del dispositivo.

Todo el sistema mecánico y eléctrico es el resultado de un diseño totalmente propio y una elaboración del 90% de los componentes. Asimismo, se diseñaron y construyeron todas las herramientas y equipos auxiliares necesarios para la producción de aerogeneradores de baja potencia similares al presentado en este trabajo.

Las primeras pruebas presentaron una potencia obtenida de 350W a velocidades de viento de 5 m/s. Extrapolando este resultado para las condiciones nominales se genera la potencia esperada en el diseño necesaria para alimentar la carga.

La realización de circuitos propios para el control del sistema es una ventaja ya que no se depende de un sistema ajeno, y el conocimiento de sus componentes internos facilita las operaciones de mantenimiento en corto plazo por la facilidad de conseguir los repuestos.

En el lugar de emplazamiento la vegetación es un agente que influye en el funcionamiento del sistema, por lo cual se deberá garantizar el despeje de todo material orgánico frecuentemente, durante la instalación fue necesario realizar operaciones de deshierbe periódico.

REFERENCIAS

1. Pinilla, Álvaro, (2008). El poder del viento. Universidad de Los Andes, Bogotá, D.C., Colombia.
2. Díaz, Pedro Fernández, (2002). Energía Eólica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España.
3. Moreno Figueredo, Conrado, (2006). Breve guía de los principales elementos que conforman los aerogeneradores actuales. Cuba.
4. Unidad de Planeamiento Minero Energético. (2006). Atlas de viento y energía eólica en Colombia. Colombia.
5. Suárez A. Bastidas J. Arias J. (2012). Diseño y Construcción de un prototipo de aerogeneración para la finca San José en la vereda Soriano del municipio de Aquitania, Boyacá. Informe final de Investigación, Proyecto DIN SGI-1018, UPTC. Colombia.
6. Cuesta, María José; Pérez, Marta; Cabrera, Juan Antonio, (2008). Aerogeneradores de potencia inferior a 100kW, Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España.
7. Franquesa, Manuel. (2009). Introducción a la teoría de las turbinas eólicas, España
8. DELCO REMY. (2008). Electrical specifications & selection guide. Starters and alternators. Estados Unidos.
9. Díez, Pedro. (2003). Energía Eólica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria, España.
10. [10] Ministerio de Minas y Energía, (2008). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, (2008) Quinta actualización. Colombia.